

平成 28 年 月 日

JSME 発電用設備規格委員会
原子力専門委員会
委員長

JSME 発電用設備規格委員会
材料専門委員会
委員長

「SN 材の規格化のための検討について」(依頼)に対する回答案

1. 検討の経緯

第 26 回材料専門委員会(平成 27 年 2 月 24 日)にて、SN 材の規格化のための検討依頼(案)に関して説明があり、平成 27 年の 2 月 25 日の原子力専門委員会にて承認後、材料専門委員会に対して正式に依頼されることを前提に、同検討依頼を検討課題とすることが承認されました。その後、下記のとおり、平成 27 年 2 月 25 日付で、原子力専門委員会より正式な検討依頼があり、検討を行いました。

2015 年 2 月 25 日

材料専門委員会委員長 殿

原子力専門委員会委員長

SN 材の規格化のための検討について
(依頼)

原子力専門委員会では、「材料規格改訂方針検討タスク」(最終報告書：2012 年 02 月 13 日)において、SN 材(建築構造用圧延鋼材)の「発電用原子力設備規格 材料規格」への採用について検討すべき材料としました。

その後、傘下の材料分科会が産業界との協働により、規格化に必要な諸データを取得し、規格化のための準備が整いました。

つきましては、添付の資料により、「発電用原子力設備規格 材料規格」(添付 1. 新規材料採用ガイドライン)に基づく規格化のための検討をお願いします。

以上

2. 検討結果

SN材の規格化に必要な S_u 、 S_y 、 S 値を評価いたしましたので、下記にその結果を報告します。

なお、以降の表において、 S_T および S_Y はそれぞれ常温の最小引張強さ(MPa)、常温の最小降伏点(MPa)を示し、各材料の S_T および S_Y は下記のとおりです。

記号	S_T / MPa	板厚 / mm	S_Y / MPa
SN400B	400	100	215
SN400C		40	235
SN490B	490	100	295
SN490C		40	325

2.1 S_y 値の評価結果 (単位 : MPa)

			温度 / °C													
記号	S_T MPa	S_Y MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SN400B	400	215	215	187	183	175	170	166	163	159	155	150	144	139	134	130
SN400C		235	235	208	205	199	196	195	193	190	186	180	172	164	156	149
SN490B	490	295	295	264	258	247	237	229	222	215	209	203	196	190	185	180
SN490C		325	325	292	287	277	269	262	255	248	241	233	225	217	210	204

2.2 S_u 値の評価結果 (単位 : MPa)

			温度 / °C													
記号	S_T MPa	S_Y MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SN400B	400	215	400	370	366	360	359	359	359	359	359	359	359	359	359	359
SN400C		235	400	366	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
SN490B	490	295	490	463	458	447	439	435	434	434	434	434	434	434	434	434
SN490C		325	490	459	455	450	449	449	449	449	449	449	449	449	449	449

2.3 S 値の評価結果 (単位 : MPa)

		温度 / °C													
記号	S_y MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SN400B	215	114	114	114	113	113	111	108	106	103	100	96.2	92.5	89.1	86.7
SN400C	235	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	110	104	99.6

S_T : 400MPa

		温度 / °C													
記号	S_y MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SN490B	295	140	140	140	140	138	137	136	136	136	135	131	127	123	120
SN490C	325	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	136

S_T : 490MPa

添付資料
検討内容の詳細

目次

1. 提供データ
2. 許容値策定に際して検討した項目
3. 許容値策定方針
 - 3.1 「発電用原子力設備規格 材料規格 (2013 年追補)」添付 1. 新規材料採用ガイドラインの確認
 - 3.2 SN 材の許容値策定に関する固有の方針
4. 許容値策定の根拠データ
 - 4.1 材料専門委員会および新材料規格化分科会の開催記録
 - 4.2 解析データ集
5. 考察
 - 5.1 TMCP 材について
 - 5.2 SS 材および SM 材との比較

1. 提供データ

原子力専門委員会より、SN材について、下記(第7回新材料規格化分科会 資料7-6-1 「SN材(JIS G 3136 建築構造用圧延鋼材)の規格化について」より抜粋)の情報とデータの提供を受け、検討を行いました。

目 次

(1) 材料の基本化学成分及び用途	3
(2) 材料の仕様	4
a. 適合規格	4
b. 化学成分制限	4
c. 機械的性質	5
d. 寸法制限	5
e. 形状寸法（寸法公差）	5
(3) 使用条件	5
a. 適用範囲	5
b. 温度範囲	6
c. 外圧設計が必要な機器への適用の有無	6
(4) 特徴及び使用上の留意事項	6
(5) 製造工程及び製造条件	8
(6) 化学成分	9
(7) 機械的性質	10
(8) 応力-ひずみ特性	12
(9) 室温並びに高温引張特性	13
(10) 溶接性	16
(11) 設計降伏点	17
(12) 設計引張強さ	17
(13) 許容引張応力	17

・ 供試材料の化学成分

表 7-1 供試材料の検査証明書記載内容（化学成分：SN400B 及び SN400C）

項目 種類	供試用材料(SN400)の調達仕様と調達材料の化学成分分析値										備考	
	鋼材厚さ		分類	C	Si	Mn	P	S	炭素 当量 (%)	溶接割れ 感受性組 成(%)		単位 %
	区分	調達 材料										
SN400B	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.030	≤0.015	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.13	0.20	1.09	0.018	0.004	0.33	0.19		0B41(高炉材)
				0.12	0.24	1.17	0.025	0.012	0.33	0.19		0B42(高炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.22	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.030	≤0.015	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.12	0.24	1.17	0.025	0.012	0.33	0.19		0B11(高炉材)
				0.16	0.22	0.96	0.010	0.006	0.33	0.22		0B12(高炉材)
SN400C	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.020	≤0.008	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.13	0.22	1.10	0.009	0.001	0.33	0.19		0C41(高炉材)
				0.13	0.26	1.13	0.012	0.003	0.34	0.20		0C42(高炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.22	≤0.35	0.60~ 1.50	≤0.020	≤0.008	≤0.36	≤0.26	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.13	0.26	1.13	0.012	0.003	0.34	0.20		0C11(高炉材)
				0.09	0.22	0.98	0.014	0.005	0.29	0.16		0C43(電炉材)
50mm を超え 100mm 以下	100 mm	検査証明書 記載値	0.13	0.22	1.31	0.012	0.002	0.32	0.16	0C12(高炉材)		
			0.13	0.22	1.03	0.010	0.001	0.31	0.19	0C13(高炉材)		

表 7-2 供試材料の検査証明書記載内容（化学成分：SN490B 及び SN490C）

項目 種類	供試用材料(SN490)の調達仕様と調達材料の化学成分分析値										備考	
	鋼材厚さ		分類	C	Si	Mn	P	S	炭素 当量 (%)	溶接割れ 感受性組 成(%)		単位 %
	区分	調達 材料										
SN490B	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.030	≤0.015	≤0.44	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.16	0.34	1.36	0.017	0.003	0.41	0.24		9B41(高炉材)
				0.14	0.25	1.42	0.017	0.005	0.41	0.24		9B42(電炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.55	≤1.65	≤0.030	≤0.015	≤0.46	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.15	0.28	1.44	0.026	0.012	0.41	0.23		9B11(高炉材)
				0.18	0.33	1.44	0.010	0.003	0.44	0.27		9B12(高炉材)
SN490C	6mm 以上 50mm 以下	40 mm	規格要求値	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.020	≤0.008	≤0.44	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.16	0.32	1.36	0.007	0.001	0.41	0.24		9C41(高炉材)
				0.16	0.26	1.38	0.013	0.002	0.41	0.24		9C42(高炉材)
	50mm を超え 100mm 以下	100 mm	規格要求値	≤0.20	≤0.55	≤1.65	≤0.020	≤0.008	≤0.46	≤0.29	供試材No.	
			調達目標値				0.020~ 0.030	0.008~ 0.015				
			検査証明書 記載値	0.14	0.35	1.24	0.008	0.001	0.37	0.22		9C11(高炉材、TMCP)
				0.13	0.35	1.25	0.007	0.001	0.36	0.21		9C12(高炉材、TMCP)
検査証明書 記載値	0.16	0.27	1.43	0.012	0.002	0.42	0.24	9C13(高炉材)				

・ 供試材料の機械的性質

表 8-1 供試材料の検査証明書記載内容（機械的性質：SN400B 及び SN400C）

項目 種類	供試用材料(SN400)の調達仕様と調達材料の機械的特性							備考			
	調達材料厚さ	分類	降伏点 又は耐力 N/mm ²	引張 強さ	降伏比 %	伸び %	シャルピー 吸収エネルギー J(0°C)				
SN400B	40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下	N/mm ²	16を超え 40以下	16を超え 50以下	-	供試材No.			
		規格要求値	235以上 355以下		400以上 510以下	80以下			22以上	27以上	
		検査証明書 記載値	300		444	68			34	258	0B41(高炉材)
			296		455	65			32	179	0B42(高炉材)
			272		436	62			30	215	0B43(電炉材)
		100 mm	鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-			40を超え 100以下	40を超え 100以下	-
	規格要求値		215以上 335以下	400以上 510以下	80以下		24以上	27以上			
	検査証明書 記載値		244	441	55		38	65	0B11(高炉材)		
			264	451	59		39	118	0B12(高炉材)		
			278	452	62		40	221	0B13(高炉材)		
	SN400C		40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下		-	16を超え 40以下	16を超え 50以下	-	
		規格要求値		235以上 355以下	400以上 510以下	80以下		22以上	27以上		
検査証明書 記載値		304		450	68	34		222	0C41(高炉材)		
		307		457	67	35		220	0C42(高炉材)		
		248		425	58	36		340	0C43(電炉材)		
100 mm		鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-	16を超え 40以下		40を超え 100以下	-		供試材No.
		規格要求値	215以上 335以下	400以上 510以下		80以下	24以上	27以上			
		検査証明書 記載値	265	440		60	36	151		0C11(高炉材)	
			235	411		57	42	320		0C12(高炉材)	
			259	422		61	41	321		0C13(高炉材)	

表 8-2 供試材料の検査証明書記載内容（機械的性質：SN490B 及び SN490C）

項目 種類	供試用材料(SN490)の調達仕様と調達材料の機械的特性							備考			
	調達材料厚さ	分類	降伏点 又は耐力 N/mm ²	引張 強さ	降伏比 %	伸び %	シャルピー 吸収エネルギー J(0°C)				
SN490B	40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下	N/mm ²	16を超え 40以下	16を超え 50以下	-	供試材No.			
		規格要求値	325以上 445以下		490以上 610以下	80以下			21以上	27以上	
		検査証明書 記載値	390		524	74			33	249	9B41(高炉材)
			345		514	67			30	179	9B42(電炉材)
			338		516	66			28	113	9B43(高炉材)
		100 mm	鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-			40を超え 100以下	40を超え 100以下	-
	規格要求値		295以上 415以下	490以上 610以下	80以下		23以上	27以上			
	検査証明書 記載値		351	502	70		38	211	9B11(高炉材)		
			351	553	63		35	129	9B12(高炉材)		
			380	539	71		36	287	9B13(高炉材)		
	SN490C		40 mm	鋼材の厚さ	16を超え 40以下		-	16を超え 40以下	16を超え 50以下	-	
		規格要求値		325以上 445以下	490以上 610以下	80以下		21以上	27以上		
検査証明書 記載値		409		534	77	31		248	9C41(高炉材)		
		373		525	71	32		280	9C42(高炉材)		
		339		510	66	32		205	9C43(高炉材)		
100 mm		鋼材の厚さ		40を超え 100以下	-	16を超え 40以下		40を超え 100以下	-		供試材No.
		規格要求値	295以上 415以下	490以上 610以下		80以下	23以上	27以上			
		検査証明書 記載値	384	539		71	35	219		9C11(高炉材、TMCP)	
			406	548		74	32	224		9C12(高炉材、TMCP)	
			335	503		67	38	234		9C13(高炉材)	

・室温並びに高温引張特性

表 9-1 各温度における引張試験結果 (SN400B 及び SN400C)

板厚 (mm)	SN400Bの引張試験結果										SN400Cの引張試験結果													
	素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A					B					素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A					B				
			RT	75	100	150	200	250	300	350	400	RT			75	100	150	200	250	300	350	400		
40	0B41	下降伏点 (MPa)	336	303	303	310	277	240	227	209	176	153	下降伏点 (MPa)	289	333	297	290	287	285	235	202	164	145	
		0.2%耐力 (MPa)	277	268	254	247	239	231	224	192	169	150	0.2%耐力 (MPa)	285	268	254	247	236	227	218	185	163	144	
		引張強さ (MPa)	296	276	264	260	244	235	232	200	181	175	引張強さ (MPa)	290	289	262	255	243	231	219	188	176	171	
	0B42	伸び (%)	457	452	424	416	424	464	476	484	462	426	伸び (%)	460	453	426	416	439	460	479	483	459	419	
		伸び (%)	34	34	33	32	24	23	20	24	30	33	伸び (%)	35	34	33	32	27	22	20	25	31	33	
		絞り (%)	75	75	75	75	70	63	57	63	72	79	絞り (%)	77	78	76	76	69	63	58	63	73	79	
	0B43	引張強さ (MPa)	310	326	298	261	289	250	261	228	190	164	引張強さ (MPa)	297	300	303	306	294	282	253	213	188	-	
		0.2%耐力 (MPa)	281	269	256	249	239	237	228	206	185	162	0.2%耐力 (MPa)	281	278	262	255	248	242	234	201	178	-	
		引張強さ (MPa)	287	283	264	251	246	238	230	216	187	179	引張強さ (MPa)	286	284	269	264	252	246	236	208	194	188	
	100	0B11	伸び (%)	466	459	433	424	453	490	504	509	488	449	伸び (%)	464	459	432	422	449	503	509	511	486	441
			伸び (%)	35	34	34	31	22	23	20	23	29	33	伸び (%)	34	34	33	32	21	22	19	25	29	33
			絞り (%)	75	75	74	74	68	61	55	61	69	74	絞り (%)	76	75	74	74	68	60	56	59	68	73
0B12		引張強さ (MPa)	273	305	284	280	253	281	259	227	195	-	引張強さ (MPa)	280	289	258	250	260	239	224	203	179	-	
		0.2%耐力 (MPa)	272	262	253	252	245	246	236	214	194	-	0.2%耐力 (MPa)	242	235	225	225	221	220	207	198	175	-	
		引張強さ (MPa)	245	268	259	255	263	255	244	217	205	199	引張強さ (MPa)	245	241	229	227	223	220	215	198	191	188	
0B13		伸び (%)	446	440	415	409	458	511	531	517	482	443	伸び (%)	419	415	389	386	437	491	513	499	468	433	
		伸び (%)	35	36	34	29	22	22	20	28	29	29	伸び (%)	38	37	36	33	23	23	25	28	30	31	
		絞り (%)	75	75	76	75	65	59	53	59	65	66	絞り (%)	80	79	79	78	71	64	59	62	67	71	
40		0C11	下降伏点 (MPa)	232	233	218	215	205	216	203	182	-	-	下降伏点 (MPa)	284	294	247	244	276	215	204	184	155	-
			0.2%耐力 (MPa)	229	224	217	209	204	205	191	189	180	176	0.2%耐力 (MPa)	261	253	245	236	222	211	193	173	154	197
			引張強さ (MPa)	449	444	418	409	421	456	478	486	465	430	引張強さ (MPa)	446	439	414	402	398	411	429	435	426	394
	0C12	伸び (%)	33	38	34	32	23	22	20	22	27	31	伸び (%)	34	34	34	33	27	23	24	25	29	33	
		伸び (%)	72	73	74	73	67	59	55	59	65	70	伸び (%)	75	75	76	76	73	69	62	66	75	83	
		絞り (%)	29	269	250	231	237	241	198	163	-	-	絞り (%)	274	290	276	247	210	220	187	153	-	-	
	0C13	引張強さ (MPa)	228	229	216	212	204	198	179	157	-	-	引張強さ (MPa)	237	234	222	217	206	198	164	153	-	-	
		0.2%耐力 (MPa)	238	236	220	217	207	201	186	173	169	167	0.2%耐力 (MPa)	242	243	231	224	213	202	168	164	160	158	
		引張強さ (MPa)	445	439	410	401	401	421	439	448	434	403	引張強さ (MPa)	416	409	382	372	361	361	371	373	376	367	
	100	0C11	伸び (%)	34	34	36	32	27	23	21	23	29	33	伸び (%)	38	40	37	37	33	30	31	30	30	37
			伸び (%)	71	70	71	71	66	60	55	57	65	76	伸び (%)	81	82	83	83	81	78	75	77	83	88
			絞り (%)	292	304	292	265	260	249	220	189	-	-	絞り (%)	297	258	258	264	232	197	167	147	-	-
0C12		下降伏点 (MPa)	259	245	241	237	227	224	200	178	-	-	下降伏点 (MPa)	234	234	217	214	198	174	159	142	-	-	
		0.2%耐力 (MPa)	261	254	248	240	230	226	211	190	180	178	0.2%耐力 (MPa)	252	236	226	221	203	183	161	160	154	152	
		引張強さ (MPa)	446	441	414	406	405	434	447	455	441	410	引張強さ (MPa)	428	419	389	378	367	367	377	385	393	373	
0C13		伸び (%)	34	36	34	33	25	24	22	23	29	33	伸び (%)	37	36	38	37	32	31	31	32	34	43	
		伸び (%)	75	74	76	74	71	64	60	62	69	76	伸び (%)	75	75	77	77	77	76	75	75	81	86	

注1) ひずみ速度種別 : A: ひずみ量2%まで $2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $6.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とした。
B: ひずみ量2%まで $7.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $1.4 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ とした。

表 9-2 各温度における引張試験結果 (SN490B 及び SN490C)

板厚 (mm)	SN490Bの引張試験結果										SN490Cの引張試験結果													
	素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A					B					素材 番号	ひずみ速度種別 ^{注1)} 試験温度 (°C)	A					B				
			R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400	R.T.			75	100	150	200	250	300	350	400		
40	9B41	下降伏点 (MPa)	361	355	335	331	314	287	270	234	204	-	下降伏点 (MPa)	370	358	350	351	315	313	259	236	202	-	
		0.2%耐力 (MPa)	338	331	316	308	291	271	252	229	202	-	0.2%耐力 (MPa)	348	344	325	320	295	272	254	226	201	-	
		引張強さ (MPa)	350	341	324	316	302	275	253	242	230	223	引張強さ (MPa)	357	357	341	329	313	278	255	233	219	212	
	9B42	伸び (%)	533	526	497	486	474	480	505	509	497	463	伸び (%)	527	522	494	481	466	470	496	502	491	458	
		伸び (%)	30	31	30	30	26	26	24	27	31	36	伸び (%)	31	32	32	31	28	27	25	28	31	35	
		絞り (%)	77	75	78	76	76	72	67	72	80	86	絞り (%)	77	77	78	79	77	72	65	73	82	86	
	9B43	引張強さ (MPa)	378	362	354	336	335	305	308	262	-	-	引張強さ (MPa)	370	358	350	351	315	313	274	-	-	-	
		0.2%耐力 (MPa)	320	324	310	305	298	293	272	254	-	-	0.2%耐力 (MPa)	352	348	331	326	305	269	257	-	-	-	
		引張強さ (MPa)	334	332	319	313	302	293	280	256	238	235	引張強さ (MPa)	367	361	342	338	317	278	259	254	247	239	
	100	9B41	伸び (%)	501	500	474	466	473	536	544	553	522	487	伸び (%)	534	529	502	491	478	483	504	508	495	461
			伸び (%)	31	33	30	29	22	21	19	24	28	28	伸び (%)	30	29	29	29	26	25	24	26	31	35
			絞り (%)	76	75	76	76	68	58	54	58	64	70	絞り (%)	76	78	77	79	76	72	63	71	81	86
9B42		引張強さ (MPa)	370	358	350	351	315	313	279	257	216	-	引張強さ (MPa)	351	352	335	342	303	305	271	233	-	-	
		0.2%耐力 (MPa)	327	322	306	302	293	287	274	241	214	-	0.2%耐力 (MPa)	330	321	310	300	295	281	259	231	-	-	
		引張強さ (MPa)	335	329	314	307	297	289	277	248	237	226	引張強さ (MPa)	332	326	315	308	296	288	266	256	245	241	
9B43		伸び (%)	521	514	487	477	489	510	538	545	528	491	伸び (%)	517	512	486	477	472	492	515	519	504	471	
		伸び (%)	31	33	33	30	23	21	21	22	26	30	伸び (%)	31	32	31	30	23	22	21	23	28	31	
		絞り (%)	73	75	76	73	70	61	57	59	67	76	絞り (%)	77	77	77	77	73	65	56	60	72	80	
40		9C11	下降伏点 (MPa)	363	353	359	326	324	302	255	236	206	-	下降伏点 (MPa)	387	389	366	376	342	306	-	-	-	-
			0.2%耐力 (MPa)	316	312	302	297	277	256	245	221	201	-	0.2%耐力 (MPa)	369	352	348	338	322	300	-	-	-	-
			引張強さ (MPa)	334	327	315	305	287	271	248	222	213	203	引張強さ (MPa)	370	365	350	343	327	314	326	324	312	301
	9C12	伸び (%)	510	506	477	467	451	453	476	493	494	461	伸び (%)	534	528	500	488	477	480	496	522	524	474	
		伸び (%)	33	34	33	32	31	29	26	28	32	37	伸び (%)	29	30	28	28	25	25	25	26	34	35	
		絞り (%)	76	76	76	77	75	72	69	64	80	86	絞り (%)	78	78	79	79	79	78	76	75	81	85	
	9C13	引張強さ (MPa)	363	353	359	326	324	302	255	236	206	-	引張強さ (MPa)	382	388	370	347	341	300	-	-	-	-	
		0.2%耐力 (MPa)	350	339	330	324	296	263	250	-	-	-	0.2%耐力 (MPa)	369	362									

2. 許容値策定に際して検討した項目

- ①「発電用原子力設備規格 材料規格 (2013 年追補)」添付 1. 新規材料採用ガイドライン
- ②室温の定義
- ③B 材と C 材の区別
- ④TMCP 材の取り扱い
- ⑤板厚の区別
- ⑥降伏点の選択
- ⑦トレンドカーブの採用方法
- ⑧ S_y , S_u , S 値の妥当性確認

3. 許容値策定方針

3.1「発電用原子力設備規格 材料規格 (2013 年追補)」添付 1. 新規材料採用ガイドラインの確認

同ガイドラインの付録 1 および 2 において、許容値を設定する上で不明瞭な点があったため、これを補足するための手順書案(内規)を下記のとおり作成した。SN 材の許容値策定に際しては、この手順書案を適用した。

JSME 発電用原子力設備規格 材料規格 2013 年追補

添付 1 新規材料採用ガイドラインにおける S_u 、 S_y 値策定のための手順書案 (内規)

1. 目的

新規材料採用ガイドラインの付録 1 および 2 には、 S_y 、 S_u 値の設定方法がそれぞれ記載されている。しかし、 S_y 、 S_u 値を設定する上で不明瞭な点があるため、設定方法をより明確化するための手順を定め、付録 1 および 2 を補足することを目的とする。

2. 手順

①標本数の取り扱い

標本数は最小 3 標本とする。(新規材料採用ガイドラインの「2.提出資料」において、供試材標本数は最小 3 標本とすることが規定されており、これに整合させる)

②トレンド曲線による方法について

- ・ 標本毎に各温度における強度を常温の強度で規準化する。
- ・ 規準化した値を温度の 2 次～5 次式で、室温で定点 1 を通過する回帰分析を行い、決定係数および標準誤差を検討し、解析精度の高い次数を選択する。
- ・ 解析精度が同程度である場合、低次の次数を選択する。
- ・ 選択した次数を用いてトレンド曲線を得、その形状が妥当であることを確認す

る。

③室温の取り扱い

室温は 20°Cとする。(ASME 規格*において、解析に用いる室温は 21°Cとなっており、整合性を図る。さらにケーススタディにて、20°Cと 25°Cの解析結果を比較したところ、20°Cを採用した場合には、保守的な評価結果が得られることを確認済み。)

④評価結果の妥当性について

実データが S_y 、 S_u の値を下回らないようにする。(解析に用いるデータの温度範囲や多項式の次数などを判断する際にも参考とする)

*ASME のデータ解析用ワークシートでは以下のコメントが記載されている。

1. Worksheets corresponding to each lot have been created in the workbook.
Please submit all tensile data onto these worksheets.
Denote room temperature data by 'RT' in the Temperature field.
For numerical purposes, room temperature corresponds to 21 C (69.8 F).
2. When all data has been submitted, return to the summary sheet and click the 'Data Analysis' command button.

3.2 SN 材の許容値策定に関する固有の方針

1. B 材と C 材の区別について

B 材と C 材を区別して解析した場合と、B 材と C 材を一括して解析した場合で、ベストフィットカーブに有意差がないため、両者を区別せずに S_u 値、 S_y 値を算出することとした。

2. 板厚の区別について

板厚 40mm 材と 100mm 材を区別して S_u 、 S_y 値を算出することとした。

3. TMCP 材の取扱い

TMCP 材と通常材を一括して解析することで、通常材の許容値が非保守的な結果になるため、TMCP 材を除いて評価することとした。

4. 解析上の室温の定義について

室温を 20°Cおよび 25°Cとして解析した結果、両者に大差がないこと、20°Cとした場合の方が若干保守的となることから解析に用いる室温は 20°Cとした。なお、ASME 規格では室温に 21.1°C (70° F) を採用している。

5. S_y 値算出における下降伏点、上昇伏点、0.2%耐力の選択について

R_y (当該温度での降伏点 (耐力) / 常温の降伏点 (耐力))は、下降伏点基準、上昇伏点基準どちらの場合もばらつきの大小に有意差はないため、保守的な評価結果が想定される上昇伏点基準を採用することとした。高温域では、高温ほど上昇伏点および下降伏点が不明瞭になり、その場合 0.2%耐力を採用することになるが、両者から選択する基準や根拠が明確でないため、室温を超える温度域では、すべて 0.2%耐力を

採用することとした。なお、材料のミルシートには、室温の降伏点として上降伏点が記載されている。

6. トレンドカーブについて

Su 値および Sy 値算出には、データ解析に基づく独自のトレンドカーブを用いることとした。

7. 試験データと Su 値、Sy 値との比較

試験データが Sy 値、Su 値を下回らないこととした。Su 値、Sy 値の有効数字は 3 桁とした。

8. S 値について

上記方針に基づいて Su 値および Sy 値を算出し、それらを用いて S 値を算出した結果、高温域でクリープ支配となる可能性が確認された場合、類似した炭素鋼の高温域の許容応力との比較検討を詳細に進め、高温域の S 値を決めることとした。S 値の有効数字は 3 桁とした。

4. 許容値策定の根拠データ

4.1 材料専門委員会および新材料規格化分科会の開催記録

第 7 回新材料規格化分科会(平成 27 年 4 月 9 日)

- ・ SN 材の許容値策定依頼内容の確認
- ・ 解析方針の確認
- ・ 解析の分担の確認

第 8 回新材料規格化分科会(平成 27 年 5 月 26 日)

- ・ TMCP 材の扱い
- ・ 降伏点の選択
- ・ 試験データが Sy、Su を下回った場合の対応

第 27 回材料専門委員会(平成 27 年 5 月 28 日)

- ・ 新材料規格化分科会での解析結果報告

第 9 回新材料規格化分科会(平成 27 年 7 月 29 日)

- ・ 試験データが Sy、Su を下回った場合の対応方針決定
- ・ トレンドカーブの選択

第 28 回材料専門委員会(平成 27 年 8 月 31 日)

- ・ 常温の許容値が JIS 材料規格値より引き下げられた場合の設計への影響
- ・ トレンドカーブの選択基準

第 10 回新材料規格化分科会(平成 27 年 11 月 24 日)

- ・ B 材、C 材の区分
- ・ 板厚の区分
- ・ トレンドカーブ選択の方針決定
- ・ クリープ強度を考慮した S 値策定

第 29 回材料専門委員会(平成 27 年 11 月 26 日)

- ・ TMCP 材のアドバンテージの確認
- ・ 常温の許容値が JIS 材料規格値より引き下げられた場合の設計への影響

第 11 回新材料規格化分科会(平成 28 年 2 月 24 日)

- ・ TMCP 材の考察
- ・ 高温域でのクリープ支配の有無

第 30 回材料専門委員会(平成 28 年 3 月 10 日)

- ・ TMCP 材の取扱い

4.2 解析データ集(参考資料を参照)

- ・ 第 30 回材料専門委員会 資料 30-7-1
- ・ 第 8 回新材料規格化分科会 資料 8-3-1、8-3-2、8-3-4
- ・ 第 9 回新材料規格化分科会 資料 9-3-1、9-3-3

5. 考察

5.1 TMCP 材について

参考資料のうち、資料 30-7-1 に示すとおり、SN490C 材(板厚 100mm)の TMCP 材の強度(降伏点、耐力、引張強さ)は通常材に比べて高く、特に 200℃以上の高温域における 0.2%耐力でその傾向が顕著であった。今回の検討では、TMCP 材と通常材を一括して解析して許容値を算出したところ、通常材を非保守的に評価する結果となったため、TMCP 材は解析に含めないこととした。通常材に比べて TMCP 材は高強度であるという特徴を有するが、TMCP 材の材料規格が存在しないため、現時点では、TMCP 材の許容値を設定することができない。今後、TMCP 材の許容値を策定する必要性が出てきた場合には、その方策を検討する必要がある。

5.2 SS 材および SM 材との比較

- ・ Sy 値について

SN400B および C 材(板厚 100mm)の Sy 値は、室温から 350℃の温度域で SS400 や SM400(A、B、C)の Sy 値を下回った。一方、SN400B および C(板厚 40mm)の Sy 値は、SS400 や SM400(A、B、C)の Sy 値と同程度であった。

SN490B および C 材(板厚 40mm、100mm)の Sy 値は、室温から 350℃の温度域で、SM490(A、B、C)の Sy 値を下回った。

- ・ Su 値について

SN400B および C 材(板厚 40mm、100mm)の Su 値は、室温から 350℃の温度域で、SS400 および SM400(A、B、C)の Su 値を下回った。一方、SN490B および C 材(板厚 40mm)の Su 値は、100℃以上の高温域で SM490(A、B、C)の Su 値を上回った。SN490B および C(板厚 100mm)の Su 値は、100℃以上の高温域で SM490(A、B、C)の Su 値を下回った。

・S 値について

SN400B および C(板厚 100mm)の S 値は、250°C以下では SS400 および SM400(A、B、C)の S 値より高かったが、250°Cを超える高温域では SS400 および SM400(A、B、C)よりも低かった。SN400B および C(板厚 40mm)の S 値は、室温から 350°Cまでの温度域で、SS400 および SM400(A、B、C)と同等以上であった。SN490B および C(板厚 100mm)の S 値は、350°Cで SM490(A、B、C)の値を若干下回るが、325°C以下の温度域では、SM490(A、B、C)の値より高かった。SN490B および C(板厚 40mm)の S 値は、室温から 350°Cまでの温度域で、SM490(A、B、C)より高かった。

SN材の S_u , S_y , S 値の解析結果

2016年3月10日

JSME発電用設備規格委員会
材料専門委員会
新材料規格化分科会

内 容

1. 解析内容

- 対象材料
- 解析条件
- 解析用データ

2. 解析結果

- TMCP材
- パラメータ
- 室温：上／下降伏点の影響
- ベストフィットカーブ or JIS B8267の標準トレンドカーブ
- B材とC材の区別の要否
- 最適回帰次数の選択

3. 考察

1. 解析内容

□ 対象材料

- JIS G 3136
- Grade: SN400B, SN400C, SN490B, SN490C
- 板厚: 40, 100mm
- SN490C, 板厚100mmは, 通常材1ヒート, TMCP材2ヒート
- SN490C, 板厚100mmのTMCP材は解析対象外とする

1. 解析内容

□ 解析条件

- 回帰分析：温度の2次～5次式
- 回帰分析：温度原点 T_0 =室温（RT）
- 室温（RT）：20°C
- 室温強度：室温の引張試験規格に準拠した試験結果
- 室温：下降伏点 or 上昇伏点
- > 室温：0.2%耐力
- B材&C材：個別及び一括

鋼種	規定最小降伏点		規定最小引張強さ
	板厚40mm	板厚100mm	板厚40, 100mm
SN400B, C	235MPa	215MPa	400MPa
SN490B, C	325MPa	295MPa	490MPa

1. 解析内容

□ 回帰式

Sy:

$$YS_T/YS_{RT} = a_0 + a_1(T-20) + a_2(T-20)^2 + a_3(T-20)^3 + a_4(T-20)^4 + a_5(T-20)^5$$

Su:

$$TS_T/TS_{RT} = a_0 + a_1(T-20) + a_2(T-20)^2 + a_3(T-20)^3 + a_4(T-20)^4 + a_5(T-20)^5$$

YS_{RT} 室温の上降伏点

YS_T 高温の0.2%耐力

TS_{RT} 室温の引張強さ

TS_T 高温の引張強さ

T 温度(°C)

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ 定数(ただし, $a_0=1$)

1. 解析内容

□ 解析用データ: SN400B, SN400C

板厚 (mm)	SN400B													SN400C														
	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A		B								検査記録 記載値	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A		B								検査記録 記載値
		試験温度	(°C)	RT	RT	75	100	150	200	250	300	350	400			試験温度	(°C)	RT	RT	75	100	150	200	250	300	350	400	
	OB41	上降伏点 (MPa)	336	303	303	310	277	240	227	209	176	153	300	OC41	上降伏点 (MPa)	289	333	297	290	287	285	235	202	164	145	304		
		下降伏点 (MPa)	277	268	254	247	239	231	224	192	169	150	-		下降伏点 (MPa)	285	268	254	247	236	227	218	185	163	144	-		
		0.2%耐力 (MPa)	296	276	264	260	244	235	232	200	181	175	-		0.2%耐力 (MPa)	290	289	262	255	243	231	219	188	176	171	-		
		引張強さ (MPa)	457	452	424	416	424	464	476	484	462	426	444		引張強さ (MPa)	460	453	426	416	439	460	479	483	459	419	450		
		伸び (%)	34	34	33	32	24	23	20	24	30	33	34		伸び (%)	35	34	33	32	27	22	20	25	31	33	34		
		絞り (%)	75	75	75	75	70	63	57	63	72	79	-	絞り (%)	77	78	76	76	69	63	58	63	73	79	75 ^{注2)}			
40	OB42	上降伏点 (MPa)	310	326	298	261	289	250	261	228	190	164	296	OC42	上降伏点 (MPa)	297	300	303	306	294	282	253	213	188	-	307		
		下降伏点 (MPa)	281	269	256	249	239	237	228	206	185	162	-		下降伏点 (MPa)	281	278	262	255	248	242	234	201	178	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	287	283	264	251	246	238	230	216	187	179	-		0.2%耐力 (MPa)	286	284	269	264	252	246	236	208	194	188	-		
		引張強さ (MPa)	466	459	433	424	453	490	504	509	488	449	455		引張強さ (MPa)	464	459	432	422	449	503	509	511	486	441	457		
		伸び (%)	35	34	34	31	22	23	20	23	29	33	32		伸び (%)	34	34	33	32	21	22	19	25	29	33	35		
		絞り (%)	75	75	74	74	68	61	55	61	69	74	-	絞り (%)	76	75	74	74	68	60	56	59	68	73	72 ^{注2)}			
	OB43	上降伏点 (MPa)	273	305	284	280	253	281	259	227	195	-	272	OC43	上降伏点 (MPa)	280	269	258	250	260	239	224	203	179	-	248		
		下降伏点 (MPa)	272	262	253	252	245	246	236	214	194	-	-		下降伏点 (MPa)	242	235	225	225	221	220	207	198	175	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	275	268	259	255	263	255	244	217	205	199	-		0.2%耐力 (MPa)	245	241	229	227	223	220	215	198	191	188	-		
		引張強さ (MPa)	446	440	415	409	458	511	531	517	482	443	436		引張強さ (MPa)	419	415	389	386	437	491	513	499	468	433	425		
		伸び (%)	35	36	34	29	22	22	20	28	29	29	30		伸び (%)	38	37	36	33	23	23	25	28	30	31	36		
		絞り (%)	75	75	76	75	65	59	53	59	65	66	-	絞り (%)	80	79	79	78	71	64	59	62	67	71	74 ^{注2)}			
	OB11	上降伏点 (MPa)	232	233	218	215	205	216	203	182	-	-	244	OC11	上降伏点 (MPa)	284	294	247	244	276	215	204	184	155	-	265		
		下降伏点 (MPa)	227	219	210	204	202	202	191	180	-	-	-		下降伏点 (MPa)	261	253	245	236	222	211	193	173	154	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	229	224	217	209	204	205	191	189	180	176	-		0.2%耐力 (MPa)	269	260	247	239	229	217	202	178	170	165	-		
		引張強さ (MPa)	449	444	418	409	421	456	478	486	465	430	441		引張強さ (MPa)	446	439	414	402	398	411	429	435	426	394	440		
		伸び (%)	33	38	34	32	23	22	20	22	27	31	38		伸び (%)	34	34	34	33	27	23	24	25	29	33	36		
		絞り (%)	72	73	74	73	67	59	55	59	65	70	-	絞り (%)	75	75	76	76	73	69	62	66	75	83	72 ^{注2)}			
100	OB12	上降伏点 (MPa)	279	269	250	231	237	241	198	163	-	-	264	OC12	上降伏点 (MPa)	274	290	276	247	210	220	187	153	-	-	235		
		下降伏点 (MPa)	228	229	216	212	204	198	179	157	-	-	-		下降伏点 (MPa)	237	234	222	217	206	198	164	153	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	238	236	220	217	207	201	186	173	169	167	-		0.2%耐力 (MPa)	242	243	231	224	213	202	168	164	160	158	-		
		引張強さ (MPa)	445	439	410	401	401	421	439	448	434	403	451		引張強さ (MPa)	416	409	382	372	361	361	371	373	376	367	411		
		伸び (%)	34	34	36	32	27	23	21	23	29	33	39		伸び (%)	38	40	37	37	33	30	31	30	30	37	42		
		絞り (%)	71	70	71	71	66	60	55	57	65	76	-	絞り (%)	81	82	83	83	81	78	75	77	83	88	79 ^{注2)}			
	OB13	上降伏点 (MPa)	292	304	292	265	260	249	220	189	-	-	278	OC13	上降伏点 (MPa)	297	258	258	264	232	197	167	147	-	-	259		
		下降伏点 (MPa)	259	245	241	237	227	224	200	178	-	-	-		下降伏点 (MPa)	234	234	217	214	198	174	159	142	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	261	254	248	240	230	226	211	190	180	178	-		0.2%耐力 (MPa)	252	236	226	221	203	183	161	160	154	152	-		
		引張強さ (MPa)	446	441	414	406	405	434	447	455	441	410	452		引張強さ (MPa)	428	419	389	378	367	367	377	385	393	373	422		
		伸び (%)	34	36	34	33	25	24	22	23	29	33	40		伸び (%)	37	36	38	37	32	31	31	32	34	43	41		
		絞り (%)	75	74	76	74	71	64	60	62	69	76	-	絞り (%)	75	75	77	77	77	76	75	75	81	86	72 ^{注2)}			

注1) ひずみ速度種別 : A: ひずみ量2%まで、 $2.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $6.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。
B: ひずみ量2%まで、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。

注2) JIS G 3136では“C材”に対する厚さ方向特性として板厚方向の“絞り”要求を課している。
一方、本試験結果においては圧延方向の測定結果。

1. 解析内容

□ 解析用データ: SN490B, SN490C

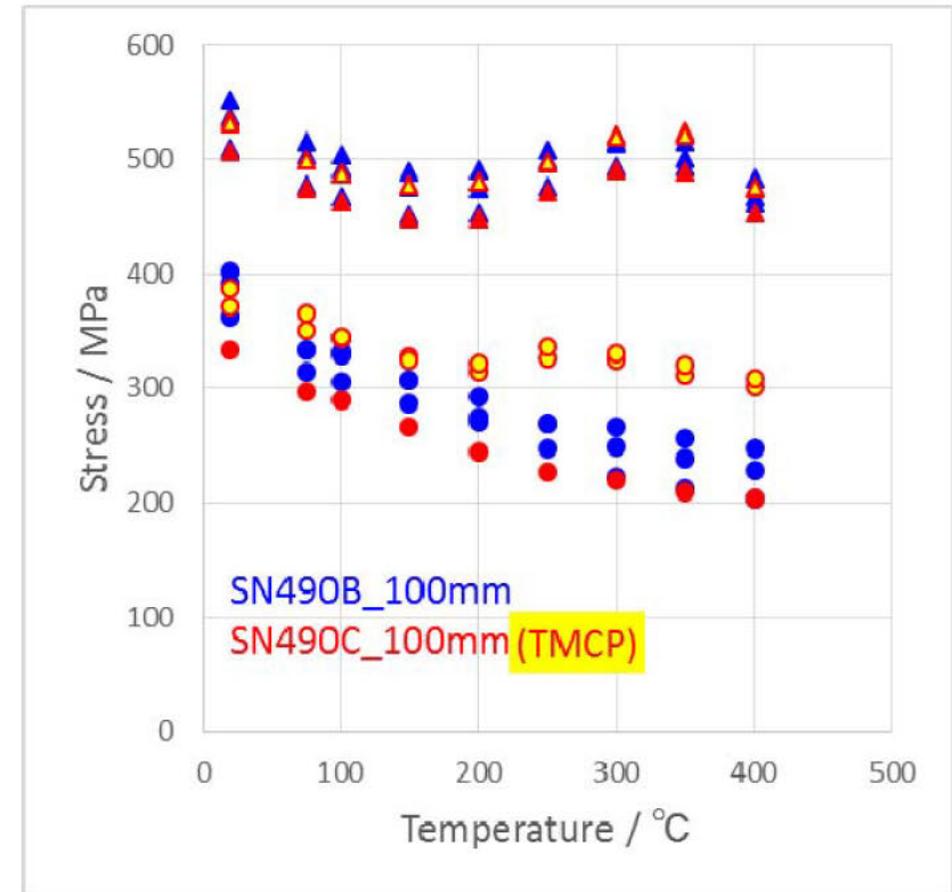
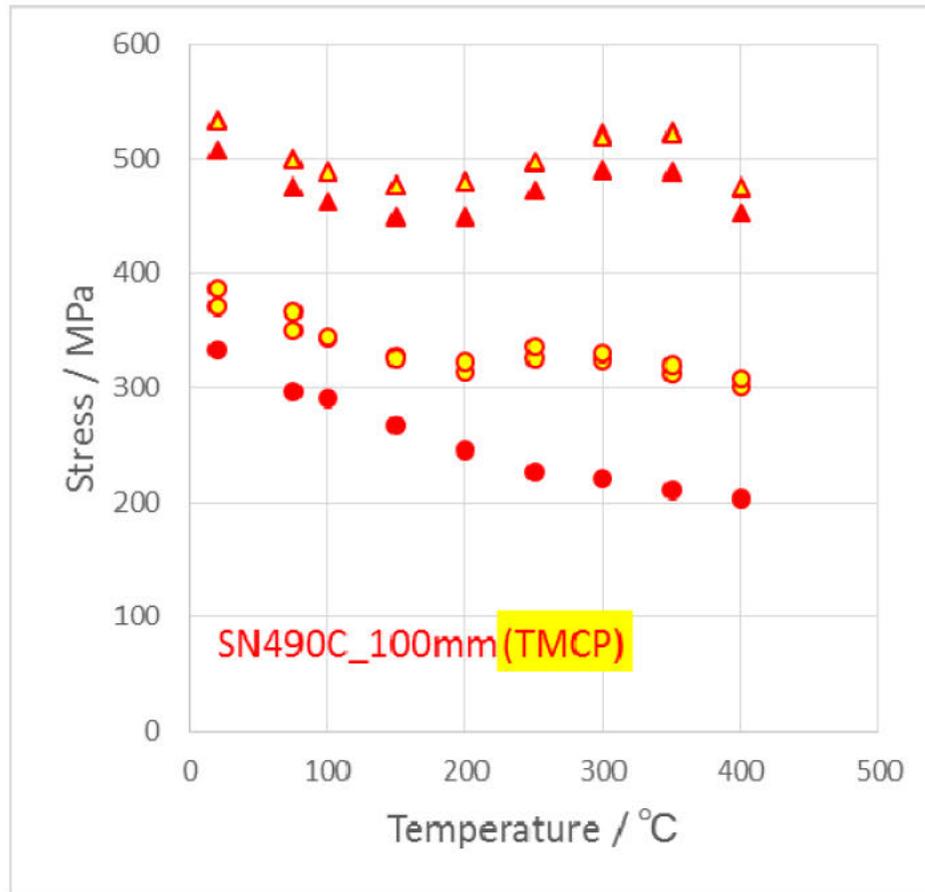
板厚 (mm)	SN490B													SN490C														
	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A		B								検査記録 記載値	素材No.	ひずみ速度種別 ^{注1)}		A		B								検査記録 記載値
		試験温度	(°C)	R.T.	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400			試験温度	(°C)	R.T.	R.T.	75	100	150	200	250	300	350	400	
	9B41	上降伏点 (MPa)	361	355	335	331	314	287	270	234	204	-	390	9C41	上降伏点 (MPa)	385	384	371	342	341	293	259	236	202	-	409		
		下降伏点 (MPa)	338	331	316	308	291	271	252	229	202	-	-		下降伏点 (MPa)	348	344	325	320	295	272	254	226	201	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	350	341	324	316	302	275	253	242	230	223	-		0.2%耐力 (MPa)	357	357	341	329	313	278	255	233	219	212	-	-	
		引張強さ (MPa)	533	526	497	486	474	480	505	509	497	463	524		引張強さ (MPa)	527	522	494	481	466	470	496	502	491	458	534		
		伸び (%)	30	31	30	30	26	26	24	27	31	36	33		伸び (%)	31	32	32	31	28	27	25	28	31	35	31		
絞り (%)	77	75	78	76	76	72	67	72	80	86	-	絞り (%)	77	77	78	79	77	72	65	73	82	86	72 ^{注2)}					
40	9B42	上降伏点 (MPa)	378	362	354	336	335	305	308	262	-	-	345	9C42	上降伏点 (MPa)	394	388	381	342	340	316	274	-	-	-	373		
		下降伏点 (MPa)	320	324	310	305	298	293	272	254	-	-	-		下降伏点 (MPa)	352	348	331	326	305	269	257	-	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	334	332	319	313	302	293	280	256	238	235	-		0.2%耐力 (MPa)	367	361	342	338	317	278	259	254	247	239	-		
		引張強さ (MPa)	501	500	474	466	473	536	544	553	522	487	514		引張強さ (MPa)	534	529	502	491	478	483	504	508	495	461	525		
		伸び (%)	31	33	30	29	22	21	19	24	28	28	30		伸び (%)	30	29	29	29	26	25	24	26	31	35	32		
絞り (%)	76	75	76	76	68	58	54	58	64	70	-	絞り (%)	76	78	77	79	76	72	63	71	81	86	74 ^{注2)}					
	9B43	上降伏点 (MPa)	370	358	350	351	315	313	279	257	216	-	338	9C43	上降伏点 (MPa)	351	352	335	342	303	305	271	233	-	-	339		
		下降伏点 (MPa)	327	322	306	302	293	287	274	241	214	-	-		下降伏点 (MPa)	330	321	310	300	295	281	259	231	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	335	329	314	307	297	289	277	248	237	226	-		0.2%耐力 (MPa)	332	326	315	308	296	288	266	256	245	241	-		
		引張強さ (MPa)	521	514	487	477	489	510	538	545	528	491	516		引張強さ (MPa)	517	512	486	477	472	492	515	519	504	471	510		
		伸び (%)	31	33	33	30	23	21	21	22	26	30	28		伸び (%)	31	32	31	30	23	22	21	23	28	31	32		
絞り (%)	73	75	76	73	70	61	57	59	67	76	-	絞り (%)	77	77	77	77	73	65	56	60	72	80	73 ^{注2)}					
	9B11	上降伏点 (MPa)	363	353	359	326	324	302	255	236	206	-	351	9C11 TMCP	上降伏点 (MPa)	387	389	366	376	342	306	-	-	-	-	384		
		下降伏点 (MPa)	316	312	302	297	277	256	245	221	201	-	-		下降伏点 (MPa)	369	352	348	338	322	300	-	-	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	334	327	315	305	287	271	248	222	213	203	-		0.2%耐力 (MPa)	370	365	350	343	327	314	326	324	312	301	-		
		引張強さ (MPa)	510	506	477	467	451	453	476	493	494	461	502		引張強さ (MPa)	534	528	500	488	477	480	496	522	524	474	539		
		伸び (%)	33	34	33	32	31	29	26	28	32	37	308		伸び (%)	29	30	28	28	25	25	25	26	34	35	35		
絞り (%)	76	76	76	77	75	72	69	64	80	86	-	絞り (%)	78	78	79	79	79	78	76	75	81	85	69 ^{注2)}					
100	9B12	上降伏点 (MPa)	391	385	359	348	329	287	251	-	-	-	351	9C12 TMCP	上降伏点 (MPa)	382	388	370	347	341	300	-	-	-	-	406		
		下降伏点 (MPa)	350	339	330	324	296	263	250	-	-	-	-		下降伏点 (MPa)	369	362	348	338	324	299	-	-	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	353	349	333	329	307	275	269	267	256	248	-		0.2%耐力 (MPa)	371	364	351	345	325	322	336	330	320	308	-		
		引張強さ (MPa)	552	546	516	504	489	490	508	514	501	467	553		引張強さ (MPa)	532	527	499	488	477	480	498	520	522	476	548		
		伸び (%)	29	30	31	29	26	25	24	25	30	35	35		伸び (%)	29	28	29	28	25	24	26	26	35	36	32		
絞り (%)	72	73	71	73	71	65	58	61	78	86	-	絞り (%)	79	79	80	80	80	80	79	78	84	86	37 ^{注2)}					
	9B13	上降伏点 (MPa)	402	382	361	365	323	311	280	254	227	-	380	9C13	上降伏点 (MPa)	333	333	334	327	310	275	229	212	-	-	335		
		下降伏点 (MPa)	353	337	324	322	302	282	263	248	225	-	-		下降伏点 (MPa)	307	300	284	274	257	232	222	211	-	-	-		
		0.2%耐力 (MPa)	370	353	334	332	307	293	270	249	239	228	-		0.2%耐力 (MPa)	309	304	297	290	267	245	227	220	210	203	-		
		引張強さ (MPa)	538	533	504	492	476	475	499	515	515	483	539		引張強さ (MPa)	507	503	475	463	449	449	472	490	489	453	503		
		伸び (%)	32	33	33	32	33	27	27	29	32	39	36		伸び (%)	35	34	34	33	30	30	28	29	34	38	38		
絞り (%)	78	78	78	77	78	75	70	72	79	85	-	絞り (%)	78	78	78	78	77	76	69	74	82	87	48 ^{注2)}					

注1) ひずみ速度種別 : A: ひずみ量2%まで、 $2.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $6.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。
B: ひずみ量2%まで、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とし、2%を超えてからは $1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。

注2) JIS G 3136では“C材”に対する厚さ方向特性として板厚方向の“絞り”要求を課している。
一方、本試験結果においては圧延方向の測定結果。

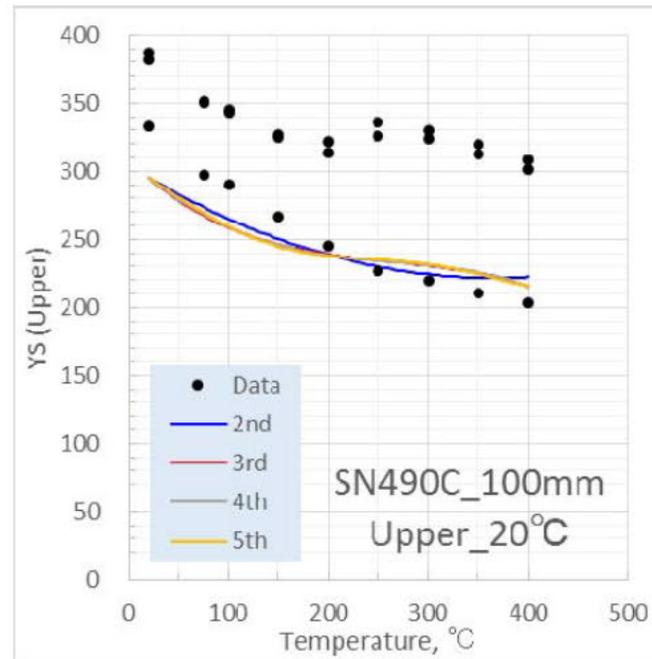
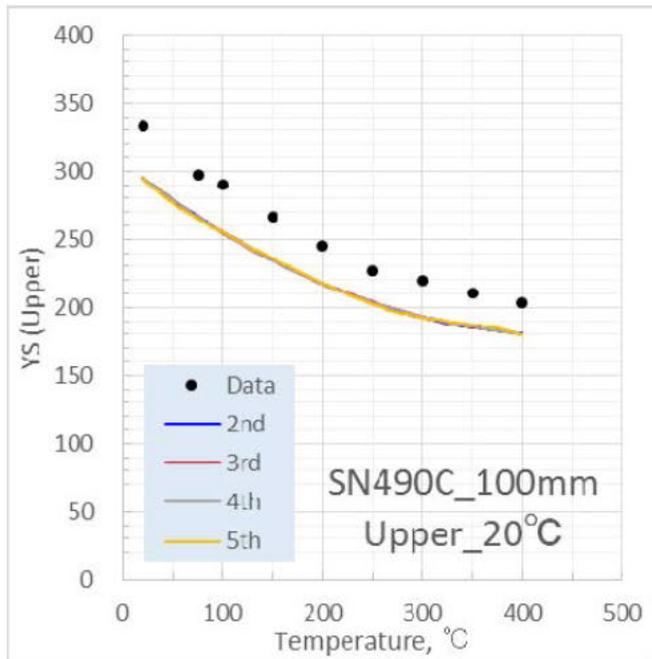
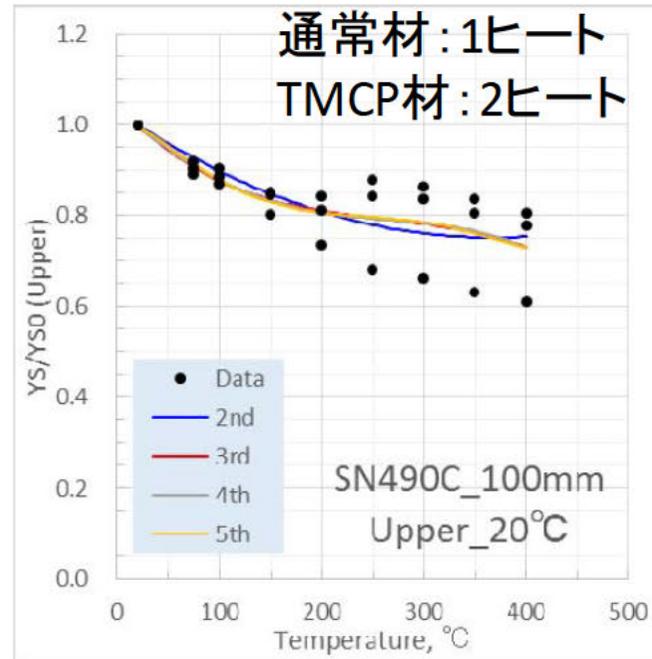
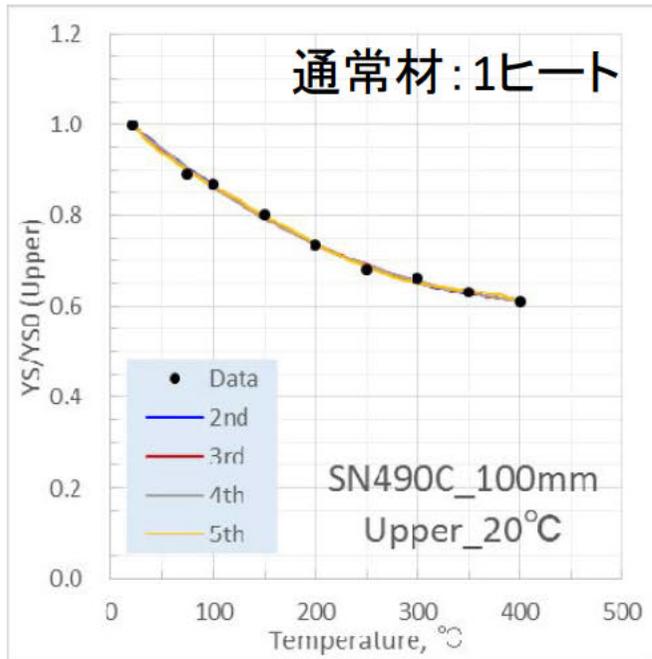
2. 解析結果: TMCP材

- SN490B, 板厚100mm: 通常材3ヒート
- SN490C, 板厚100mm: 通常材1ヒート, TMCP材2ヒート
- TMCP材: Thermo-Mechanical Control Process (制御圧延, 制御冷却等の加工熱処理プロセス)を用いて組織制御を行い, 機械的性質を向上させている
- SN490C通常材の強度はSN490Bの下限程度であるが, TMCP材は強度が高く, とくに200°C以上の高温域における0.2%耐力でその傾向が顕著である



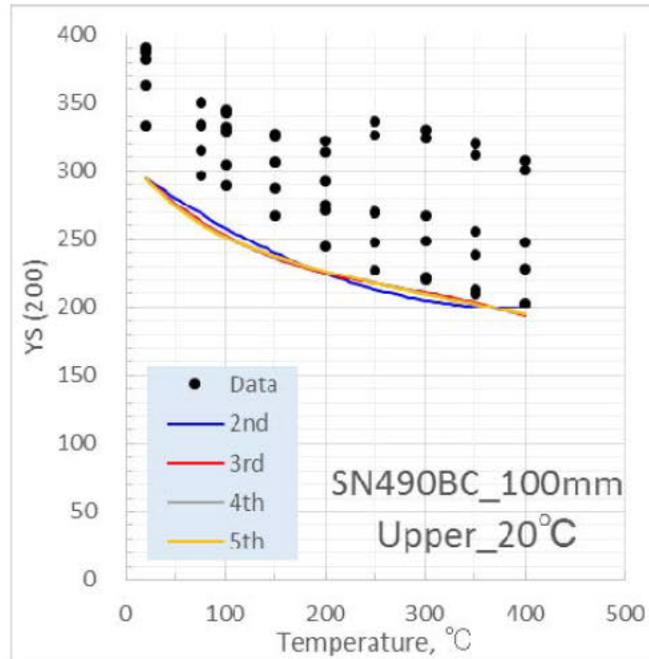
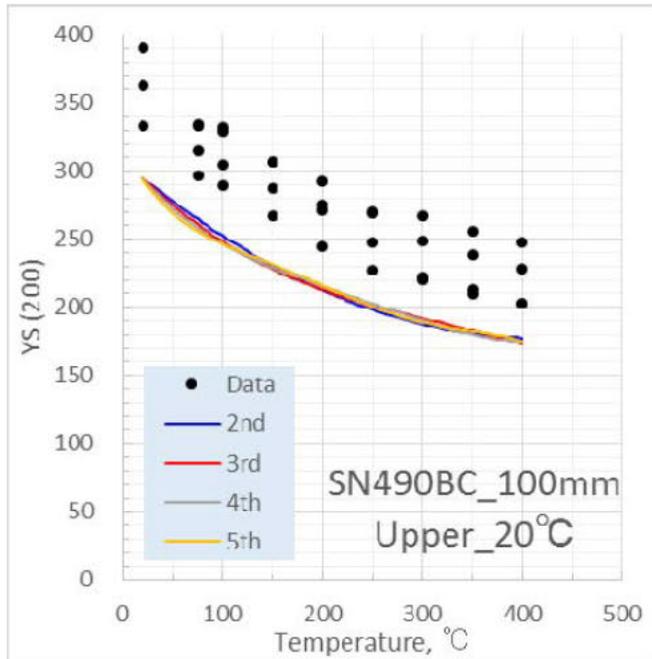
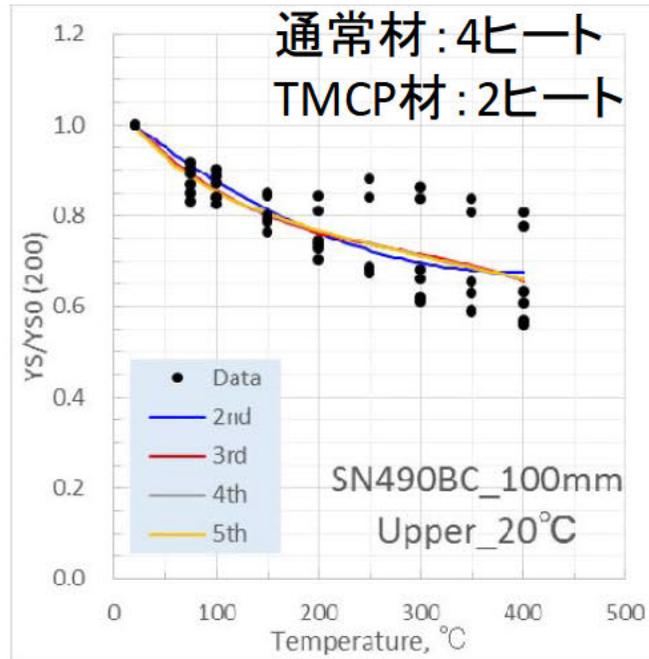
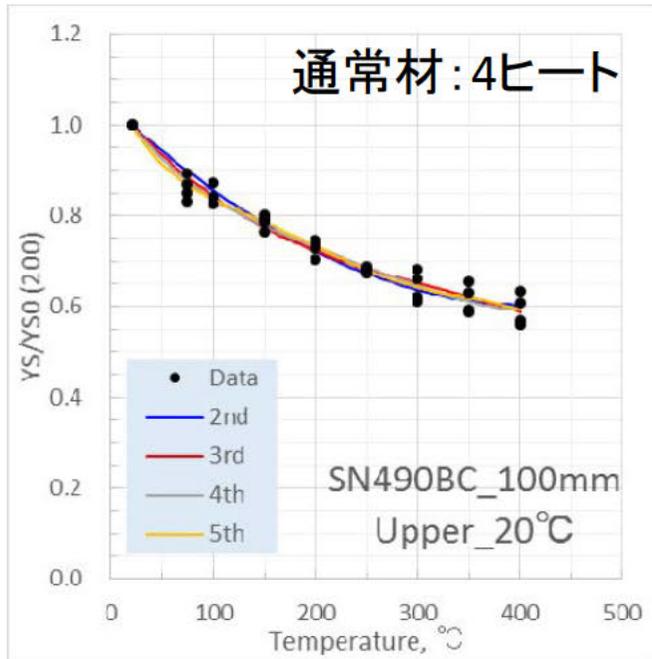
2. 解析結果: TMCP材-Sy

SN490C_100mm



- 通常材に比べてTMCP材は強度が高く、とくに200°C以上の高温域で両者の強度差が増大する
- 通常材とTMCP材では、強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)が大きく異なる
- TMCP材を含めて解析すると、通常材の強度を非保守的に評価する

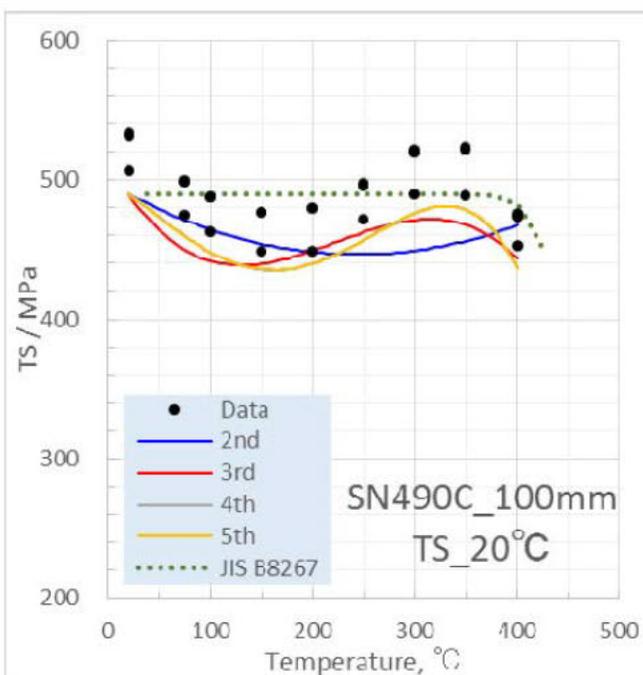
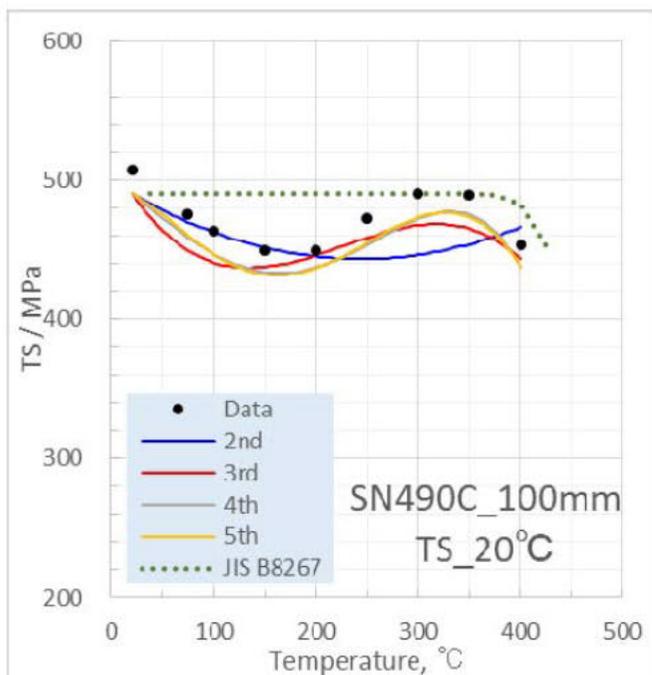
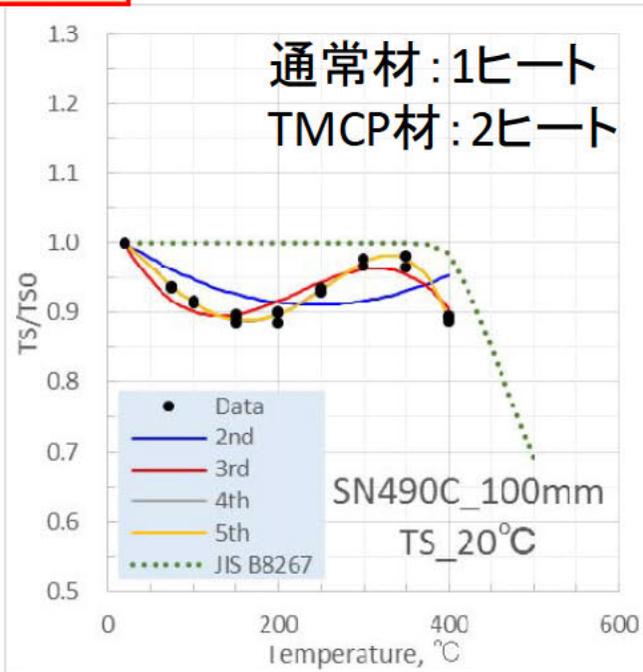
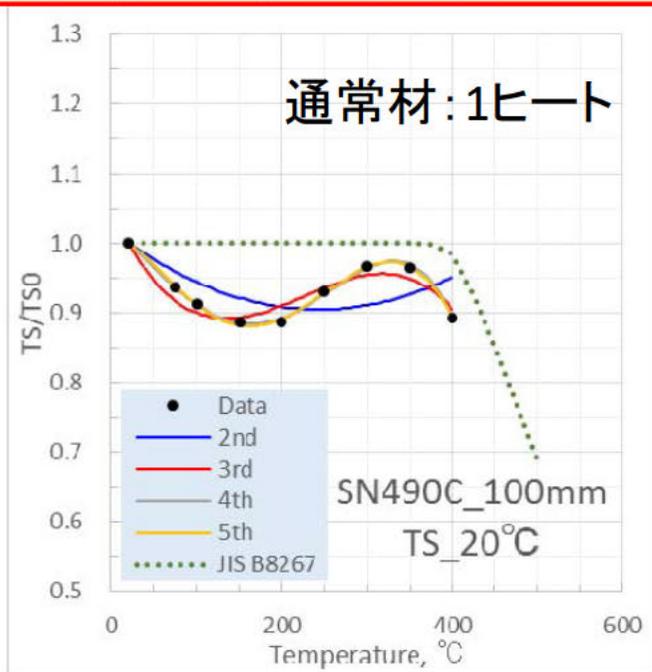
2. 解析結果: TMCP材-Sy



SN490B_100mm
SN490C_100mm

- 通常材に比べてTMCP材は強度が高く、とくに200°C以上の高温域で両者の強度差が増大する
- 通常材とTMCP材では、強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)が大きく異なる
- TMCP材を含めて解析すると、通常材の強度の評価結果は十分な保守性を担保することができない

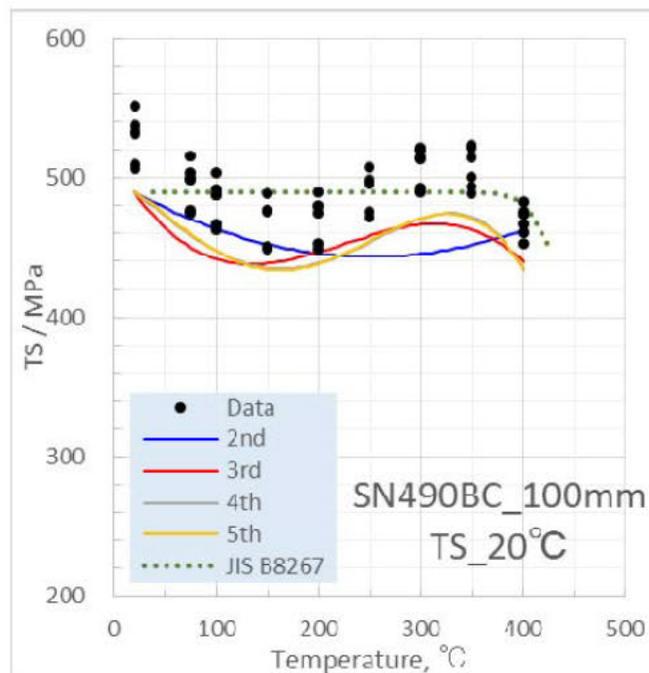
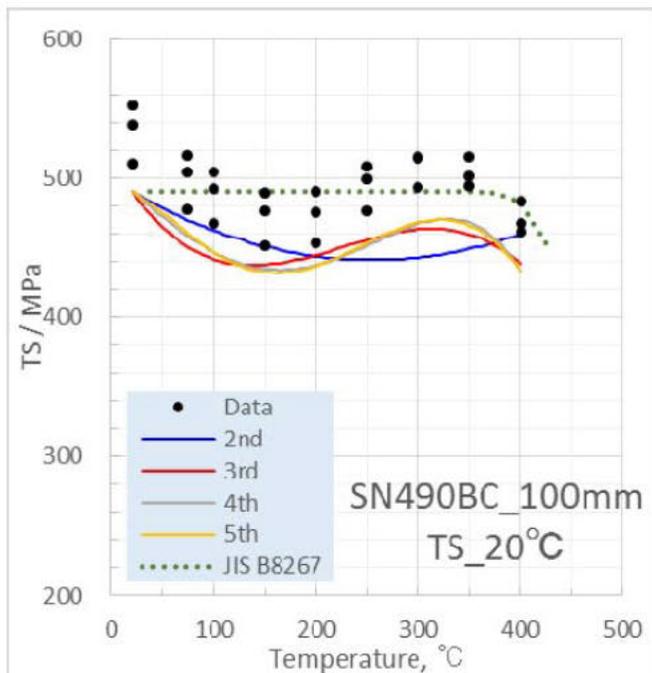
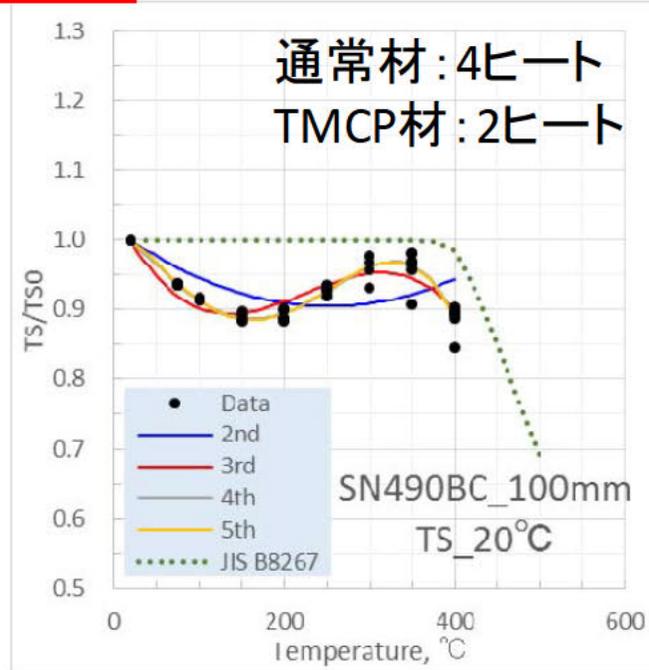
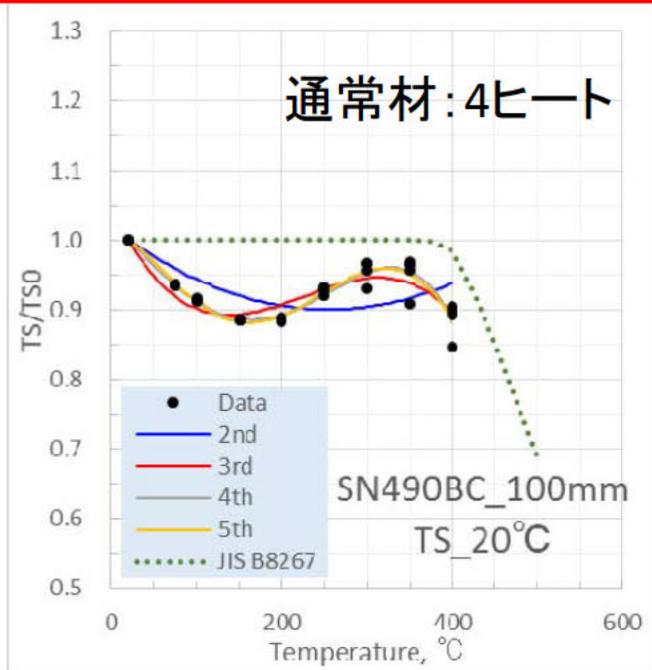
2. 解析結果: TMCP材-Su



SN490C_100mm

- 通常材に比べてTMCP材は全試験温度範囲で強度が高い
- 通常材とTMCP材で、強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)に有意差は認められない
- TMCP材を含めて解析しても、非保守的な評価にはならない

2. 解析結果: TMCP材-Su



SN490B_100mm
SN490C_100mm

- B材とC材をまとめて評価すると, 通常材とTMCP材の強度に有意差は認められない
- 通常材とTMCP材で, 強度の温度依存性(トレンドカーブの形状)に有意差は認められない
- TMCP材を含めて解析しても, 非保守的な評価にはならない

2. 解析結果: TMCP材

- SN490B, 板厚100mm: 通常材3ヒート
- SN490C, 板厚100mm: 通常材1ヒート, TMCP材2ヒート
- TMCP材: Thermo-Mechanical Control Process (制御圧延, 制御冷却等の加工熱処理プロセス)を用いて組織制御を行い, 機械的性質を向上させている
- SN490C通常材の強度はSN490Bの下限程度であるが, TMCP材は強度が高く, とくに200°C以上の高温域における0.2%耐力でその傾向が顕著である
- S_y の温度依存性(トレンドカーブの形状)は通常材とTMCP材で大きく異なるが, S_u の温度依存性には通常材とTMCP材で有意差は認められない
- SN490C材の強度をTMCP材を含めて解析しても, S_u は非保守的な結果にはならないが, 通常材の S_y を非保守的に評価する
- SN490B材とSN490C材の強度をTMCP材を含めて解析しても, S_u は非保守的な結果にはならないが, 通常材の S_y の評価結果は十分な保守性を担保することができない
- 以上の検討結果から, TMCP材のデータを除外して, S_y , S_u , S値を評価する

2. 解析結果：パラメータ, SN400B/C, $t=40\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN400B 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-5.999E-04	-7.890E-04	-1.904E-03	-1.015E-03	-1.456E-03	-2.361E-03	-4.116E-03	-4.050E-03
	a2	-7.958E-07	8.101E-07	1.824E-05	-2.886E-06	1.193E-06	8.880E-06	3.634E-05	3.477E-05
	a3		-3.039E-09	-8.127E-08	7.988E-08		-1.455E-08	-1.378E-07	-1.258E-07
	a4			1.061E-10	-3.851E-10			1.672E-10	1.307E-10
	a5				5.196E-13				3.856E-14
	R2	0.96059	0.96123	0.96721	0.96811	0.88698	0.89491	0.90294	0.90295
	SE	0.03935	0.03983	0.03742	0.03773	0.09059	0.08916	0.08752	0.08949
SN400C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-8.050E-04	-8.134E-04	-1.824E-03	-1.376E-03	-1.450E-03	-1.999E-03	-3.479E-03	-3.559E-03
	a2	-1.701E-07	-9.903E-08	1.571E-05	5.061E-06	1.284E-06	5.942E-06	2.909E-05	3.099E-05
	a3		-1.345E-10	-7.108E-08	1.014E-08		-8.815E-09	-1.127E-07	-1.272E-07
	a4			9.624E-11	-1.514E-10			1.409E-10	1.852E-10
	a5				2.619E-13				-4.686E-14
	R2	0.93607	0.93607	0.94071	0.94092	0.97629	0.97970	0.98636	0.98637
	SE	0.05162	0.05268	0.05183	0.05290	0.03839	0.03626	0.03036	0.03104
SN400B SN400C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-7.025E-04	-8.012E-04	-1.864E-03	-1.195E-03	-1.453E-03	-2.180E-03	-3.797E-03	-3.805E-03
	a2	-4.830E-07	3.556E-07	1.698E-05	1.087E-06	1.238E-06	7.411E-06	3.271E-05	3.288E-05
	a3		-1.587E-09	-7.618E-08	4.501E-08		-1.168E-08	-1.252E-07	-1.265E-07
	a4			1.012E-10	-2.682E-10			1.540E-10	1.579E-10
	a5				3.908E-13				-4.148E-15
	R2	0.94708	0.94725	0.95252	0.95302	0.92795	0.93346	0.94081	0.94081
	SE	0.04539	0.04576	0.04384	0.04405	0.06833	0.06630	0.06316	0.06380

2. 解析結果：パラメータ, SN400B/C, $t=100\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN400B 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-7.823E-04	-6.119E-04	-1.183E-03	-1.079E-03	-1.774E-03	-2.491E-03	-3.834E-03	-4.515E-03
	a2	1.136E-07	-1.334E-06	7.601E-06	5.120E-06	2.362E-06	8.451E-06	2.945E-05	4.564E-05
	a3		2.740E-09	-3.736E-08	-1.844E-08		-1.152E-08	-1.058E-07	-2.292E-07
	a4			5.439E-11	-3.284E-12			1.278E-10	5.041E-10
	a5				6.101E-14				-3.979E-13
	R2	0.97522	0.97589	0.97791	0.97793	0.92275	0.92814	0.93323	0.93354
	SE	0.02751	0.02769	0.02707	0.02767	0.07197	0.07084	0.06976	0.07116
SN400C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-1.124E-03	-3.177E-04	-3.252E-04	-1.203E-03	-2.406E-03	-2.876E-03	-4.041E-03	-5.838E-03
	a2	3.527E-07	-6.498E-06	-6.380E-06	1.448E-05	3.312E-06	7.303E-06	2.554E-05	6.825E-05
	a3		1.297E-08	1.244E-08	-1.467E-07		-7.553E-09	-8.937E-08	-4.151E-07
	a4			7.161E-13	4.857E-10			1.110E-10	1.104E-09
	a5				-5.130E-13				-1.050E-12
	R2	0.98404	0.99221	0.99222	0.99283	0.97434	0.97573	0.97803	0.97931
	SE	0.02990	0.02132	0.02177	0.02137	0.05358	0.05318	0.05169	0.05128
SN400B SN400C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-9.532E-04	-4.648E-04	-7.542E-04	-1.141E-03	-2.090E-03	-2.683E-03	-3.938E-03	-5.176E-03
	a2	2.332E-07	-3.916E-06	6.104E-07	9.801E-06	2.837E-06	7.877E-06	2.750E-05	5.694E-05
	a3		7.853E-09	-1.246E-08	-8.255E-08		-9.539E-09	-9.757E-08	-3.221E-07
	a4			2.755E-11	2.412E-10			1.194E-10	8.040E-10
	a5				-2.260E-13				-7.241E-13
	R2	0.95848	0.96236	0.96273	0.96288	0.93645	0.93922	0.94255	0.94331
	SE	0.04157	0.03996	0.04016	0.04049	0.07394	0.07301	0.07169	0.07194

2. 解析結果：パラメータ, SN490B/C, $t=40\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN490B 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-6.470E-04	-2.857E-04	-6.359E-04	-4.368E-04	-1.716E-03	-2.285E-03	-3.462E-03	-4.135E-03
	a2	-5.290E-07	-3.599E-06	1.879E-06	-2.854E-06	1.914E-06	6.755E-06	2.516E-05	4.116E-05
	a3		5.809E-09	-1.877E-08	1.733E-08		-9.163E-09	-9.176E-08	-2.138E-07
	a4			3.334E-11	-7.669E-11			1.120E-10	4.839E-10
	a5				1.164E-13				-3.934E-13
	R2	0.96739	0.96995	0.97060	0.97065	0.98950	0.99272	0.99642	0.99670
	SE	0.03420	0.03350	0.03385	0.03459	0.02729	0.02319	0.01662	0.01631
SN490C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-9.834E-04	-3.038E-04	-3.309E-05	-5.553E-04	-1.784E-03	-1.874E-03	-2.328E-03	-3.448E-03
	a2	1.861E-07	-5.587E-06	-9.822E-06	2.589E-06	2.029E-06	2.793E-06	9.882E-06	3.652E-05
	a3		1.093E-08	2.993E-08	-6.472E-08		-1.446E-09	-3.326E-08	-2.364E-07
	a4			-2.578E-11	2.628E-10			4.315E-11	6.624E-10
	a5				-3.052E-13				-6.550E-13
	R2	0.96868	0.97556	0.97585	0.97611	0.97668	0.97676	0.97727	0.97800
	SE	0.03846	0.03468	0.03521	0.03581	0.04218	0.04298	0.04342	0.04368
SN490B SN490C 40mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-8.152E-04	-2.948E-04	-3.345E-04	-4.960E-04	-1.750E-03	-2.080E-03	-2.895E-03	-3.792E-03
	a2	-1.714E-07	-4.593E-06	-3.972E-06	-1.325E-07	1.971E-06	4.774E-06	1.752E-05	3.884E-05
	a3		8.368E-09	5.580E-09	-2.370E-08		-5.305E-09	-6.251E-08	-2.251E-07
	a4			3.782E-12	9.304E-11			7.760E-11	5.732E-10
	a5				-9.441E-14				-5.242E-13
	R2	0.96243	0.96702	0.96703	0.96706	0.98263	0.98367	0.98538	0.98587
	SE	0.03874	0.03665	0.03701	0.03737	0.03506	0.03433	0.03281	0.03258

2. 解析結果：パラメータ, SN490B/C, $t=100\text{mm}$, $RT=20^\circ\text{C}$

		下降伏点_RT + 0.2% 耐力				上降伏点_RT + 0.2%耐力			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN490B 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-9.600E-04	-4.601E-04	-1.849E-04	-2.813E-04	-2.054E-03	-2.570E-03	-3.260E-03	-4.227E-03
	a2	1.148E-07	-4.132E-06	-8.437E-06	-6.145E-06	2.631E-06	7.016E-06	1.781E-05	4.077E-05
	a3		8.037E-09	2.736E-08	9.871E-09		-8.299E-09	-5.672E-08	-2.319E-07
	a4			-2.621E-11	2.709E-11			6.568E-11	5.996E-10
	a5				-5.638E-14				-5.648E-13
	R2	0.98466	0.98847	0.98878	0.98878	0.99086	0.99300	0.99403	0.99450
	SE	0.02664	0.02358	0.02376	0.02428	0.02831	0.02529	0.02386	0.02341
SN490C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-1.152E-03	-5.328E-04	1.807E-04	1.463E-04	-1.855E-03	-1.912E-03	-1.870E-03	-2.481E-03
	a2	5.919E-07	-4.673E-06	-1.583E-05	-1.501E-05	2.204E-06	2.683E-06	2.029E-06	1.655E-05
	a3		9.964E-09	6.003E-08	5.380E-08		-9.075E-10	2.026E-09	-1.087E-07
	a4			-6.792E-11	-4.891E-11			-3.980E-12	3.336E-10
	a5				-2.010E-14				-3.571E-13
	R2	0.99254	0.99784	0.99973	0.99973	0.99943	0.99946	0.99946	0.99968
	SE	0.02128	0.01236	0.00479	0.00534	0.00725	0.00762	0.00832	0.00720
SN490B SN490C 100mm 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-1.008E-03	-4.783E-04	-9.349E-05	-1.744E-04	-2.005E-03	-2.406E-03	-2.913E-03	-3.790E-03
	a2	2.341E-07	-4.267E-06	-1.029E-05	-8.362E-06	2.524E-06	5.933E-06	1.386E-05	3.472E-05
	a3		8.519E-09	3.553E-08	2.085E-08		-6.451E-09	-4.203E-08	-2.011E-07
	a4			-3.664E-11	8.093E-12			4.827E-11	5.331E-10
	a5				-4.731E-14				-5.129E-13
	R2	0.98598	0.99015	0.99074	0.99075	0.99210	0.99343	0.99400	0.99440
	SE	0.02553	0.02173	0.02139	0.02173	0.02567	0.02376	0.02305	0.02262

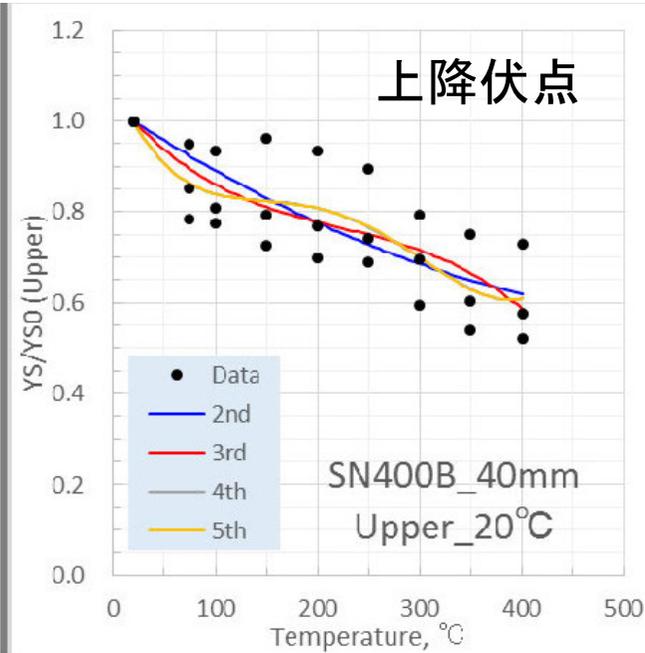
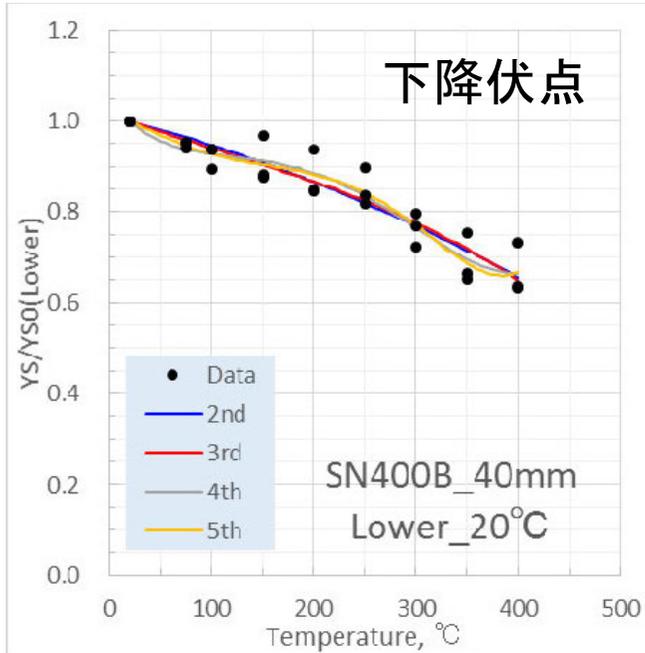
2. 解析結果：パラメータ, SN400B/C, $t=40$, 100mm, $RT=20^{\circ}\text{C}$

引張強さ		板厚: 40mm				板厚: 100mm			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN400B 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	2.834E-04	-2.086E-03	-3.418E-03	-2.807E-03	-3.420E-04	-2.297E-03	-2.546E-03	-1.654E-03
	a2	-5.442E-07	1.959E-05	4.041E-05	2.591E-05	8.382E-07	1.745E-05	2.134E-05	1.432E-07
	a3		-3.811E-08	-1.315E-07	-2.091E-08		-3.144E-08	-4.889E-08	1.128E-07
	a4			1.267E-10	-2.105E-10			2.367E-11	-4.691E-10
	a5				3.567E-13				5.212E-13
	R2	0.12906	0.72515	0.77567	0.77817	0.16641	0.84838	0.85134	0.86032
	SE	0.07601	0.04358	0.04022	0.04089	0.05736	0.02497	0.02525	0.02503
SN400C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	4.005E-04	-2.071E-03	-3.591E-03	-3.121E-03	-1.025E-03	-2.251E-03	-1.994E-03	-1.789E-03
	a2	-8.266E-07	2.017E-05	4.394E-05	3.277E-05	2.181E-06	1.259E-05	8.579E-06	3.700E-06
	a3		-3.974E-08	-1.464E-07	-6.119E-08		-1.971E-08	-1.688E-09	3.552E-08
	a4			1.447E-10	-1.151E-10			-2.444E-11	-1.379E-10
	a5				2.748E-13				1.200E-13
	R2	0.16521	0.65708	0.70706	0.70819	0.84687	0.94909	0.95029	0.95048
	SE	0.08543	0.05588	0.05276	0.05384	0.03981	0.02343	0.02364	0.02413
SN400B SN400C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	3.420E-04	-2.079E-03	-3.504E-03	-2.964E-03	-6.835E-04	-2.274E-03	-2.270E-03	-1.721E-03
	a2	-6.854E-07	1.988E-05	4.218E-05	2.934E-05	1.510E-06	1.502E-05	1.496E-05	1.922E-06
	a3		-3.892E-08	-1.390E-07	-4.105E-08		-2.557E-08	-2.529E-08	7.414E-08
	a4			1.357E-10	-1.628E-10			-3.850E-13	-3.035E-10
	a5				3.157E-13				3.206E-13
	R2	0.14699	0.68359	0.73358	0.73528	0.49400	0.74318	0.74318	0.74506
	SE	0.07941	0.04884	0.04526	0.04557	0.05897	0.04242	0.04284	0.04312

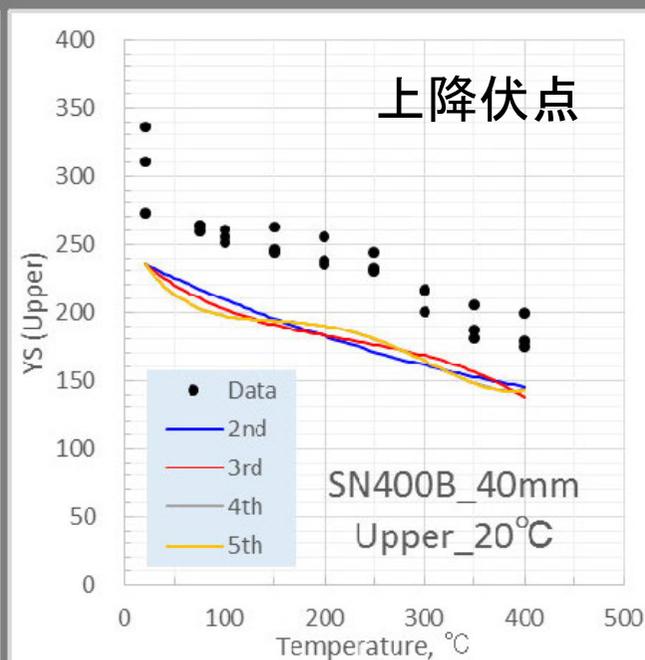
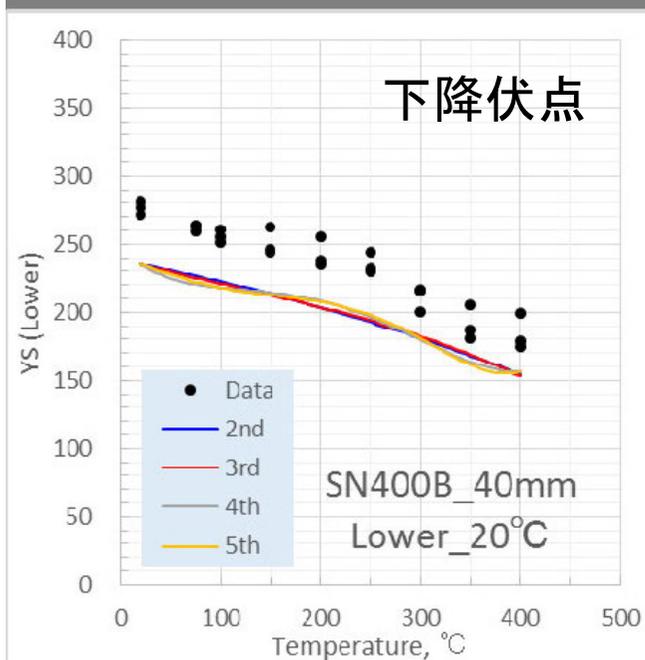
2. 解析結果：パラメータ, SN490B/C, $t=40$, 100mm, $RT=20^{\circ}\text{C}$

引張強さ		板厚: 40mm				板厚: 100mm			
		2nd	3rd	4th	5th	2nd	3rd	4th	5th
SN490B 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-2.547E-04	-2.049E-03	-2.259E-03	-1.192E-03	-8.490E-04	-2.067E-03	-1.273E-03	-7.803E-04
	a2	5.698E-07	1.581E-05	1.911E-05	-6.273E-06	1.776E-06	1.212E-05	-2.923E-07	-1.200E-05
	a3		-2.885E-08	-4.364E-08	1.499E-07		-1.958E-08	3.612E-08	1.254E-07
	a4			2.007E-11	-5.700E-10			-7.556E-11	-3.478E-10
	a5				6.242E-13				2.879E-13
	R2	0.09882	0.57154	0.57330	0.58391	0.82003	0.95640	0.97196	0.97337
	SE	0.06572	0.04625	0.04715	0.04761	0.03712	0.01865	0.01528	0.01522
SN490C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-6.148E-04	-1.995E-03	-1.611E-03	-6.231E-04	-8.536E-04	-2.161E-03	-1.130E-03	-7.710E-04
	a2	1.145E-06	1.288E-05	6.859E-06	-1.662E-05	1.909E-06	1.302E-05	-3.110E-06	-1.164E-05
	a3		-2.220E-08	4.799E-09	1.838E-07		-2.103E-08	5.135E-08	1.164E-07
	a4			-3.663E-11	-5.824E-10			-9.819E-11	-2.966E-10
	a5				5.773E-13				2.099E-13
	R2	0.70775	0.92855	0.93315	0.94031	0.78954	0.96820	0.99804	0.99889
	SE	0.04215	0.02127	0.02102	0.02031	0.04110	0.01726	0.00470	0.00395
SN490B SN490C 20°C	a0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	a1	-4.348E-04	-2.022E-03	-1.935E-03	-9.073E-04	-8.501E-04	-2.090E-03	-1.237E-03	-7.780E-04
	a2	8.574E-07	1.434E-05	1.298E-05	-1.145E-05	1.809E-06	1.235E-05	-9.967E-07	-1.191E-05
	a3		-2.552E-08	-1.942E-08	1.669E-07		-1.994E-08	3.993E-08	1.232E-07
	a4			-8.276E-12	-5.762E-10			-8.122E-11	-3.350E-10
	a5				6.007E-13				2.684E-13
	R2	0.34898	0.67532	0.67558	0.68424	0.81127	0.95709	0.97563	0.97689
	SE	0.05833	0.04160	0.04200	0.04185	0.03707	0.01794	0.01373	0.01358

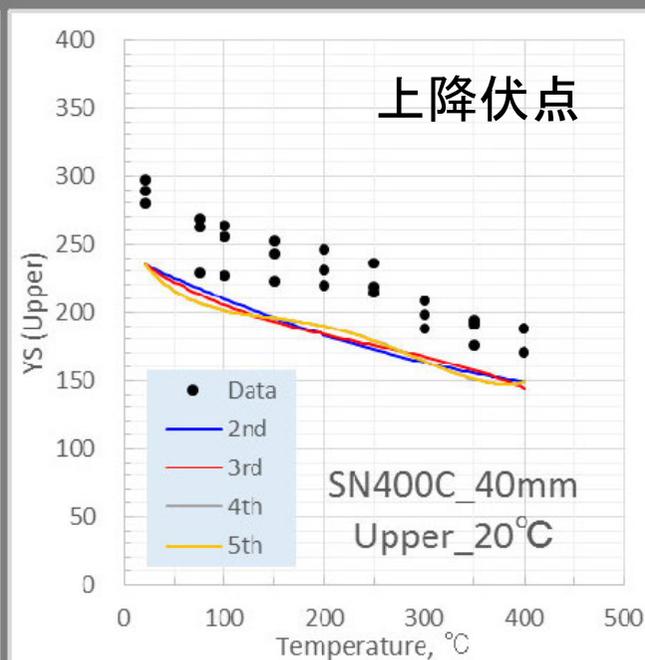
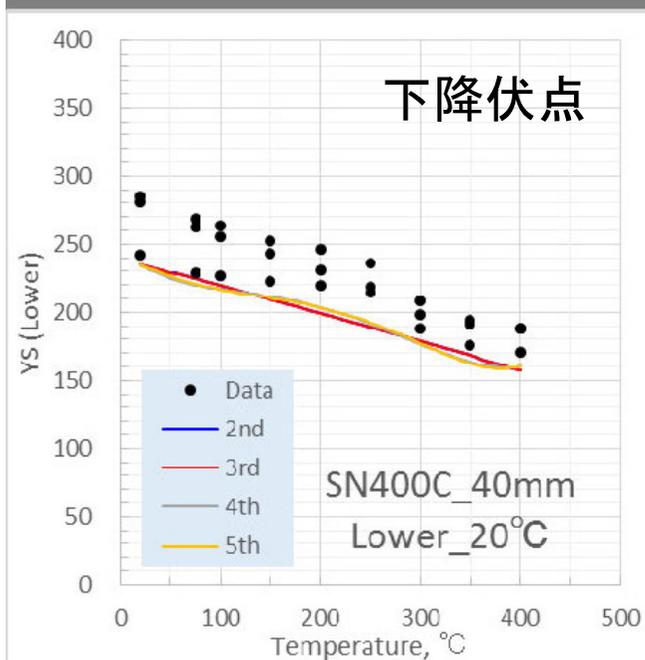
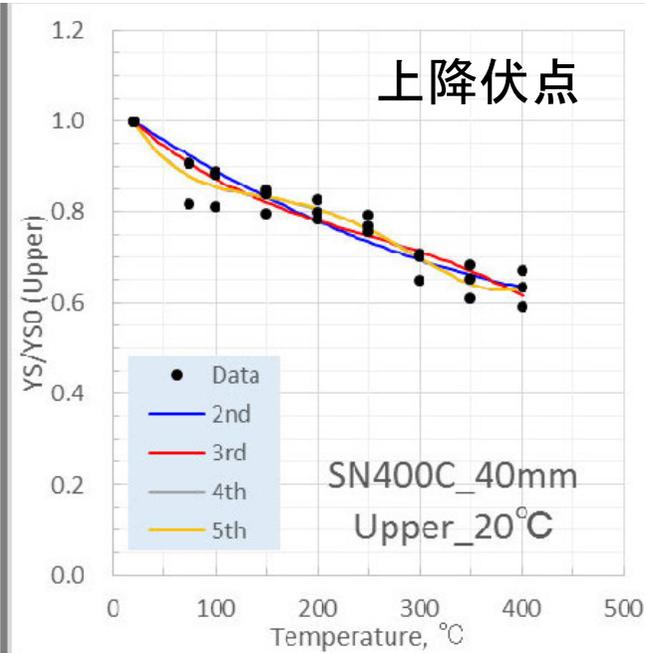
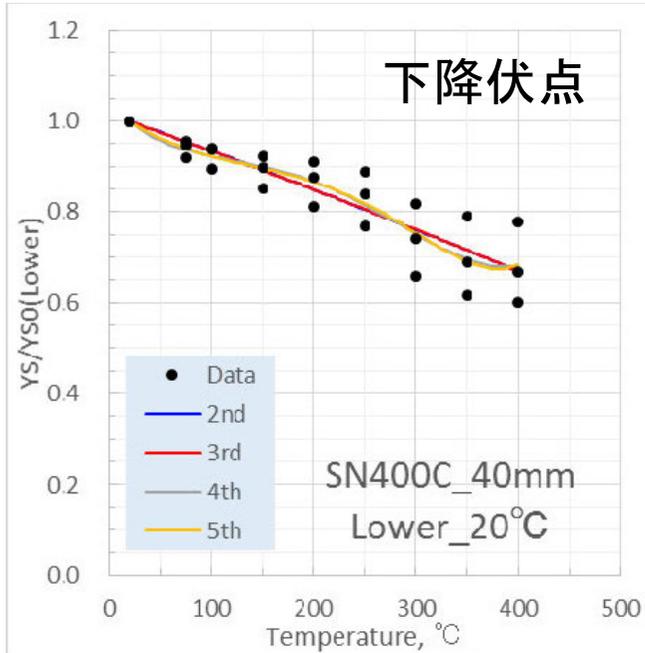
2. 下降伏点／上降伏点_SN400B_40mm



- 下降伏点に比べて, 上降伏点に対する0.2%耐力の比はデータのばらつきが大きい
- 下降伏点に比べて, 上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

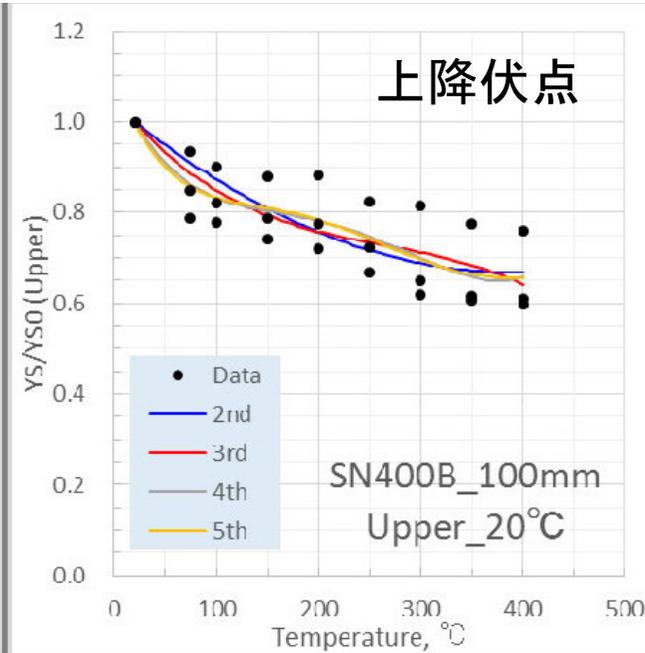
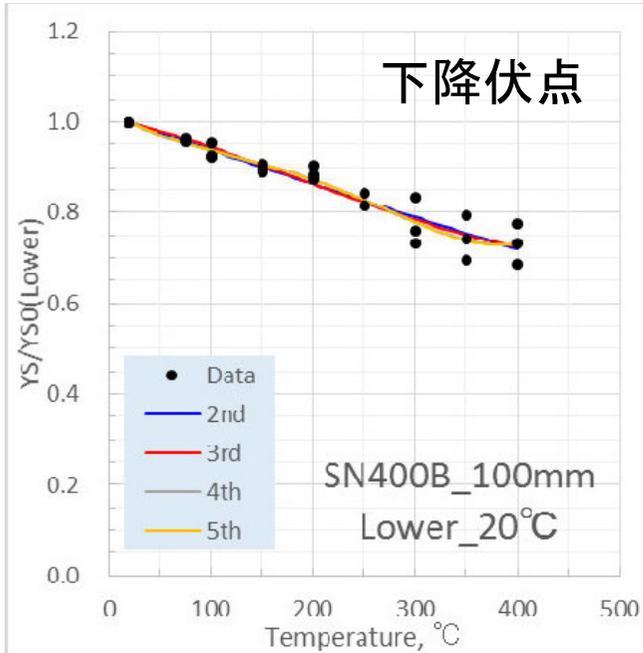


2. 下降伏点／上降伏点_SN400C_40mm

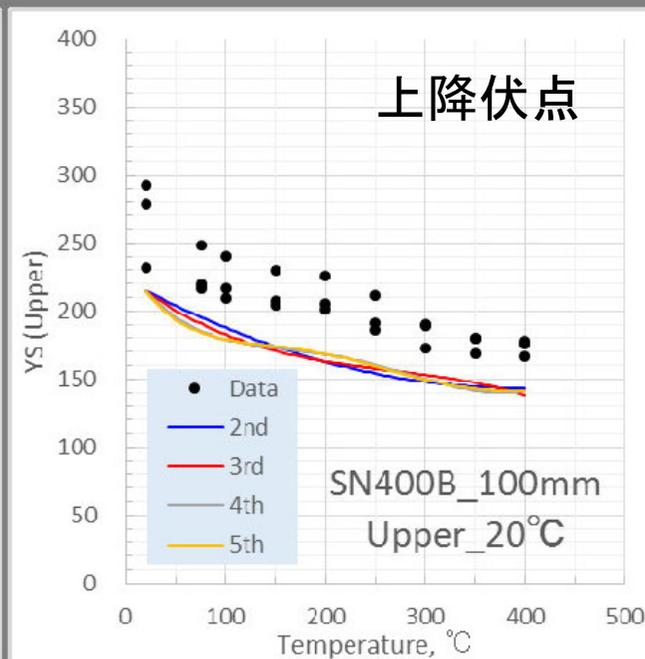
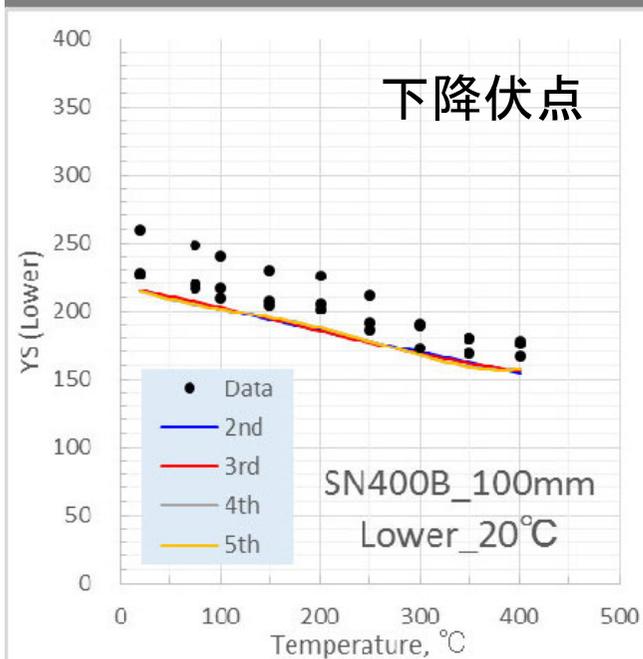


- SN400B(40mm)材とは異なり、200°C以上の高温域では上降伏点に対する0.2%耐力の比の方がばらつきの程度は小さい
- 下降伏点に比べて、上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

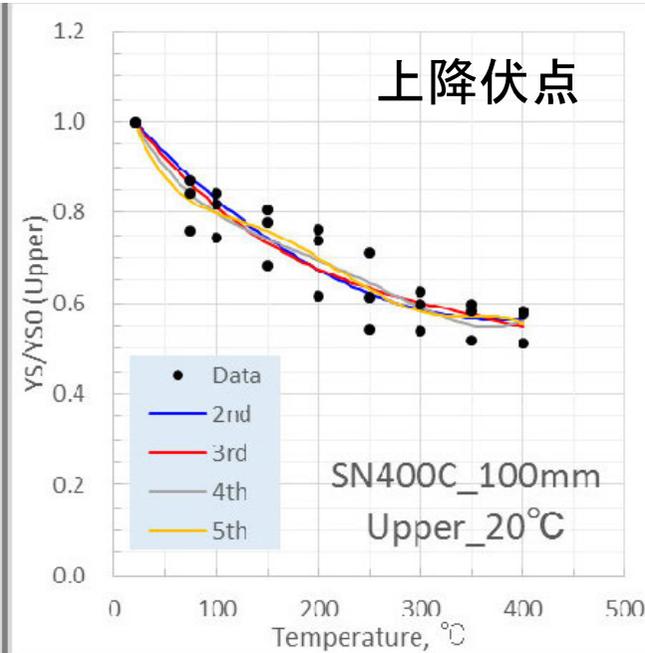
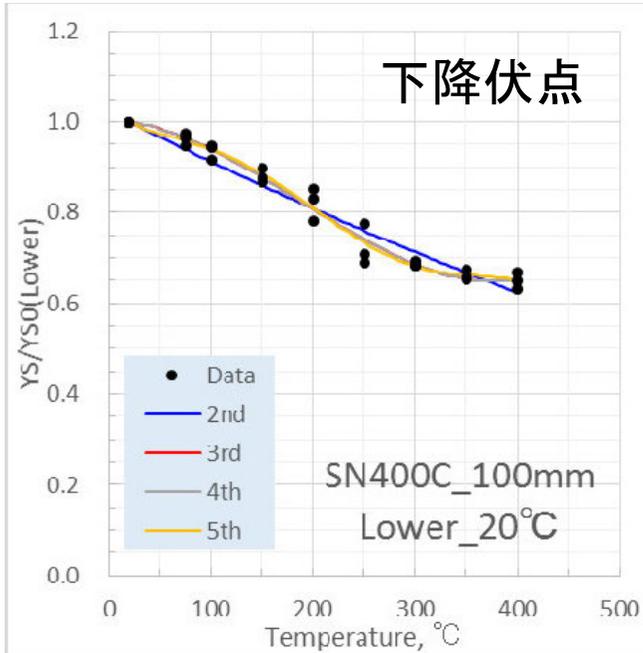
2. 下降伏点／上降伏点_SN400B_100mm



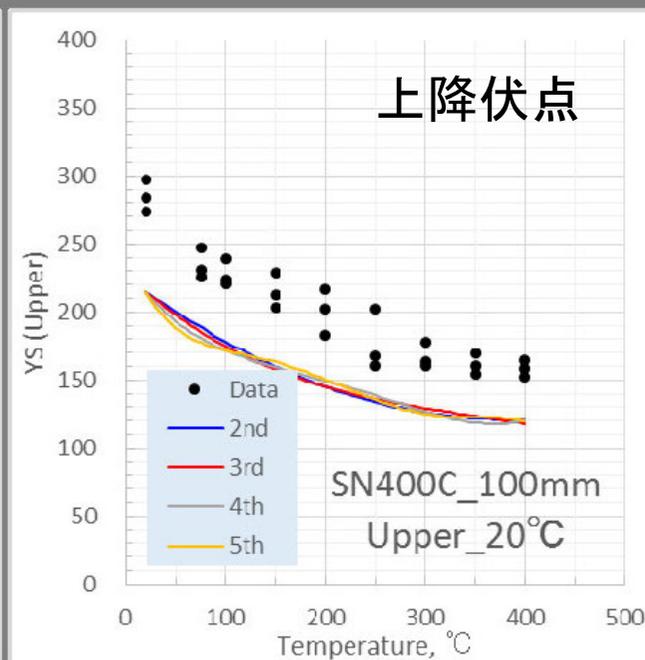
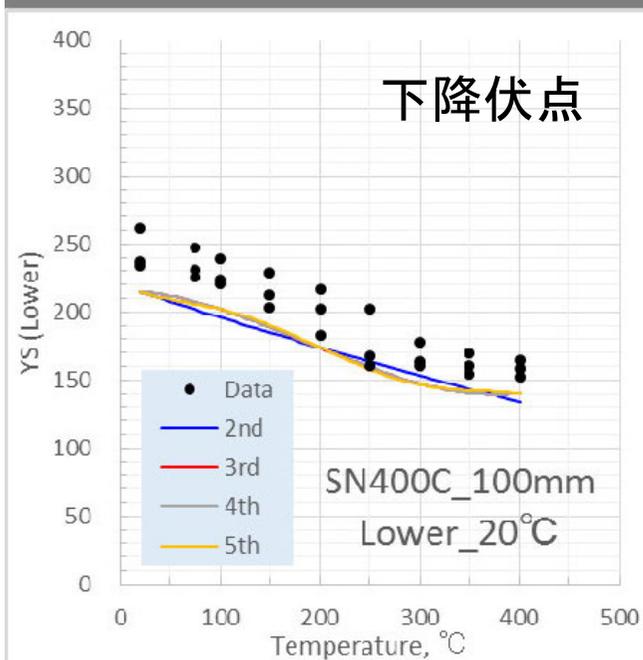
- 下降伏点に比べて、上降伏点に対する0.2%耐力の比はデータのばらつきが大きい
- 下降伏点に比べて、上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい



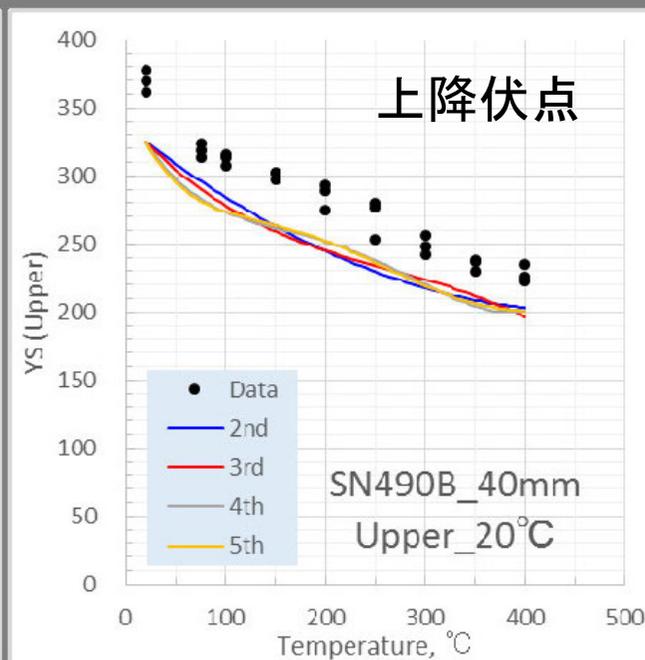
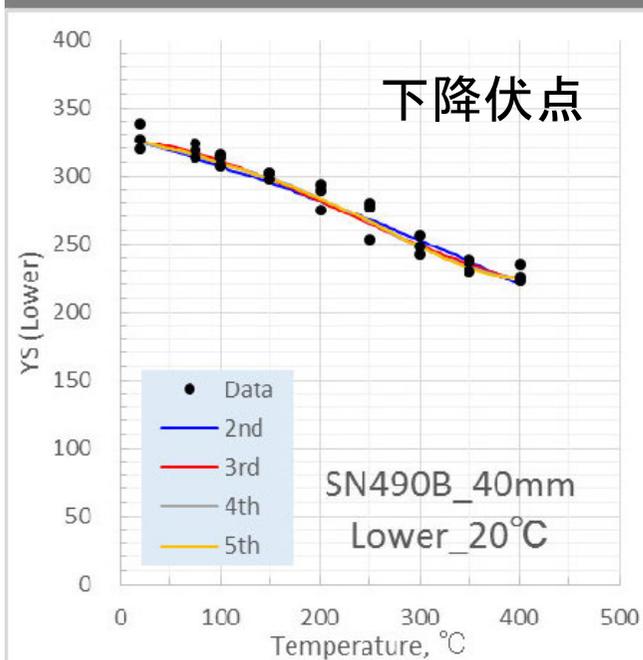
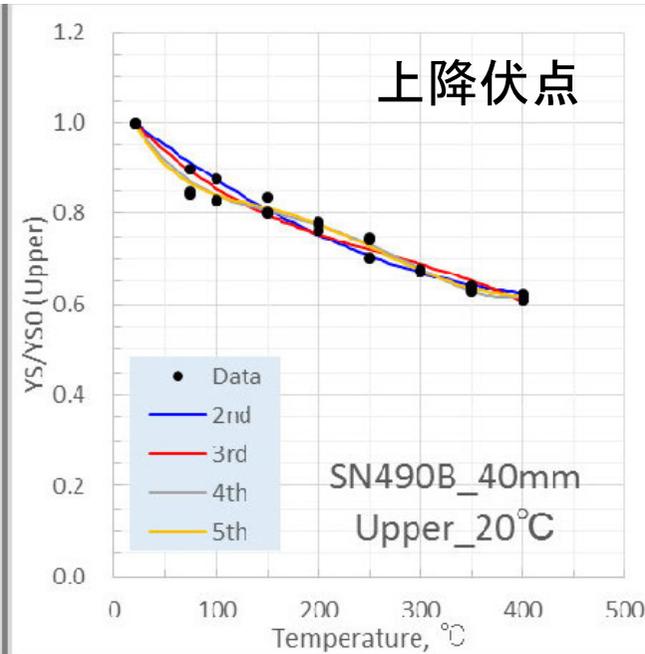
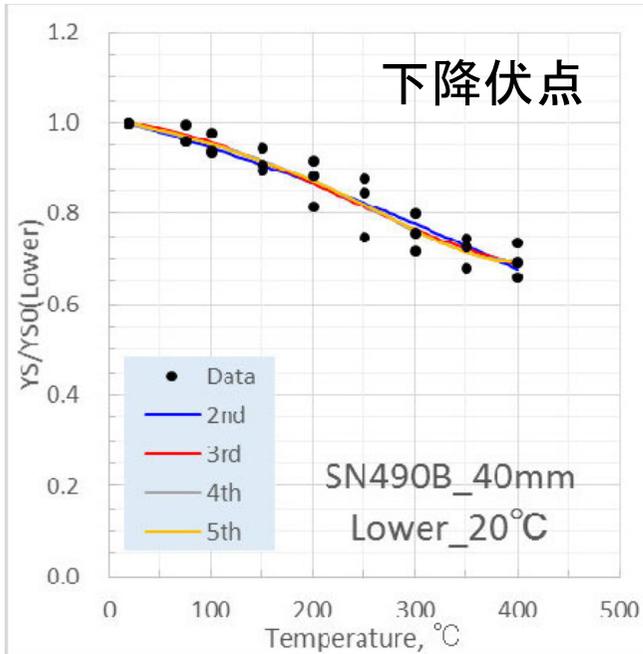
2. 下降伏点／上降伏点_SN400C_100mm



- 下降伏点に比べて, 上降伏点に対する0.2%耐力の比はデータのばらつきが大きい
- 下降伏点に比べて, 上降伏点の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

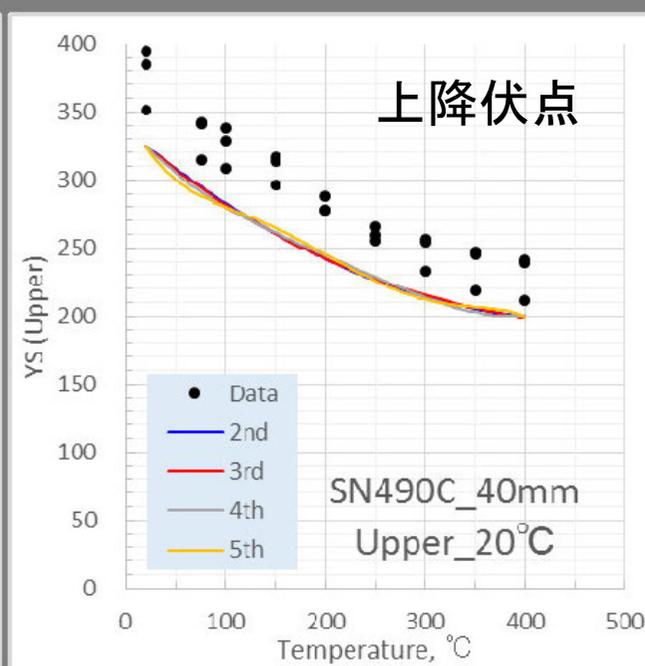
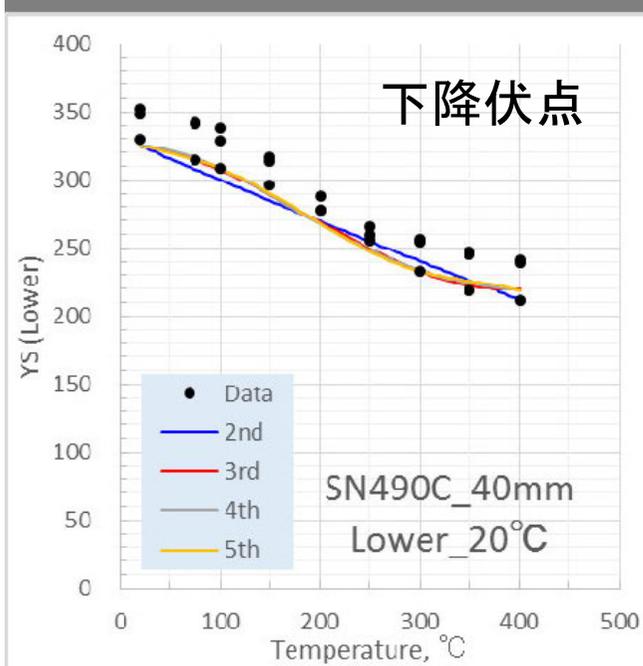
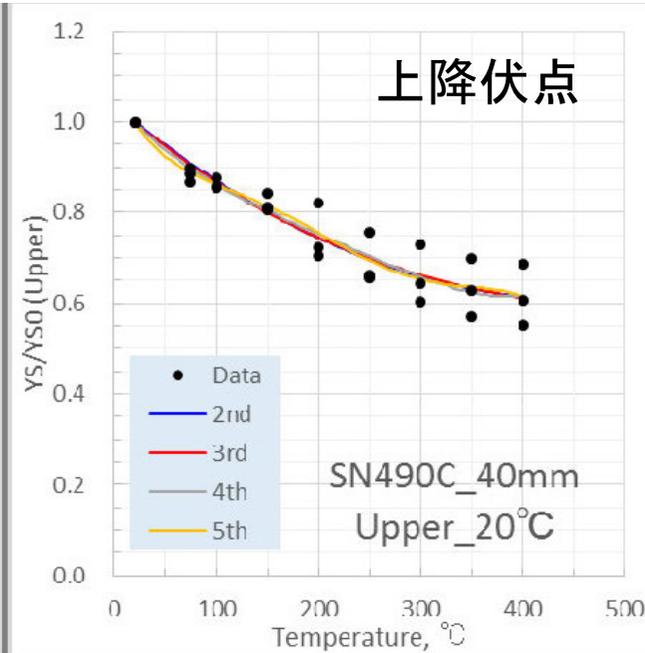
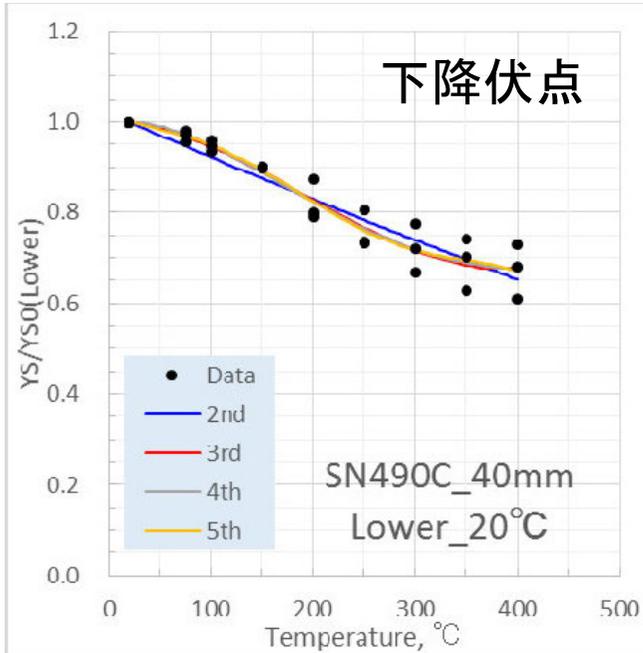


2. 下降伏点／上降伏点_SN490B_40mm



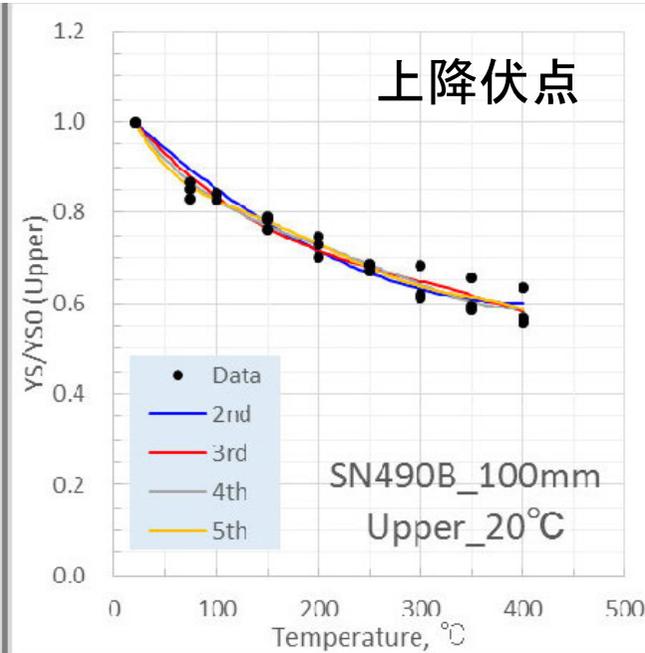
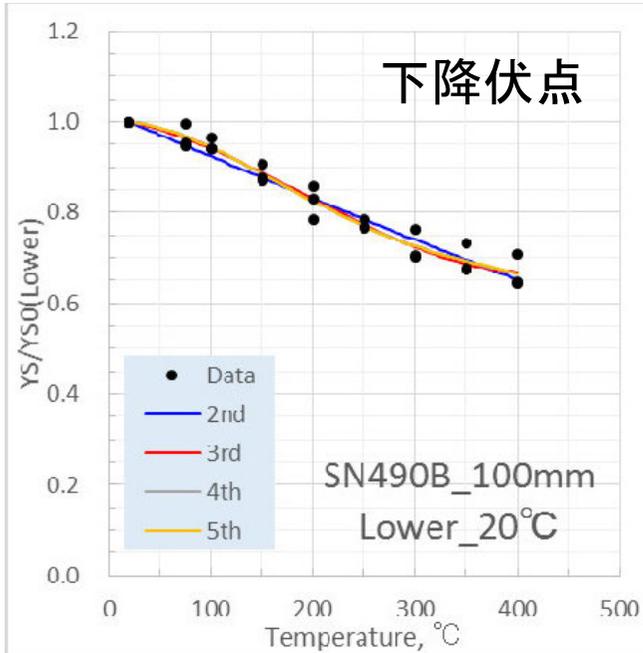
- 下降伏点よりも, 上降伏点に対する0.2%耐力の比の方がばらつきの程度は小さい
- 下降伏点基準では, 試験結果(データ)の一部が評価結果(トレンドカーブ)を下回るが, 上降伏点は保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

2. 下降伏点／上降伏点_SN490C_40mm

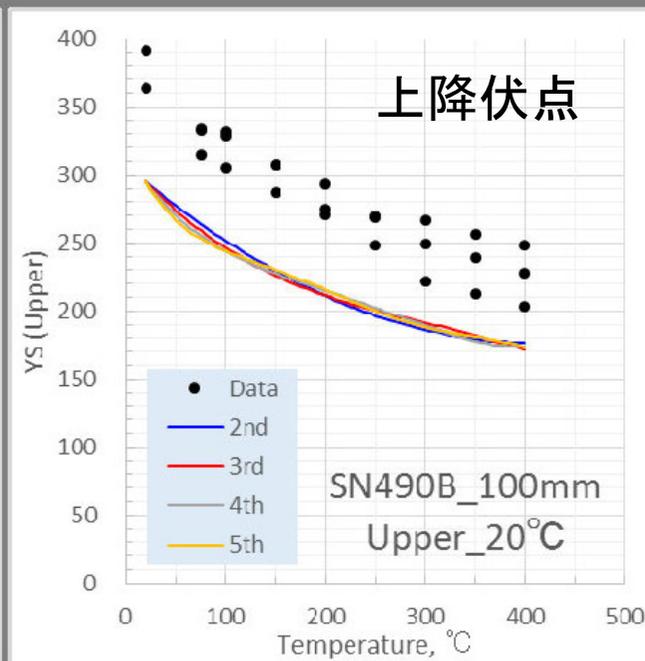
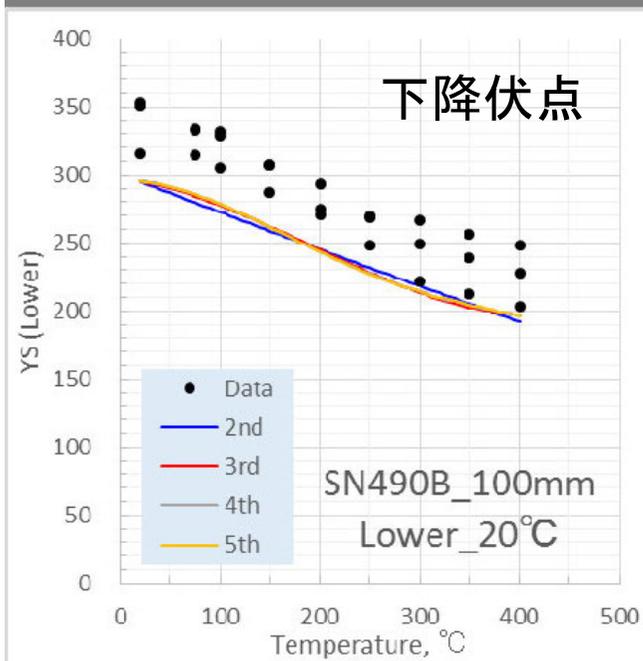


- 下降伏点よりも, 上降伏点に対する0.2%耐力の比の方がばらつきの程度はわずかに大きい
- 下降伏点基準では, 試験結果(データ)の一部が評価結果(トレンドカーブ)を下回るが, 上降伏点は保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

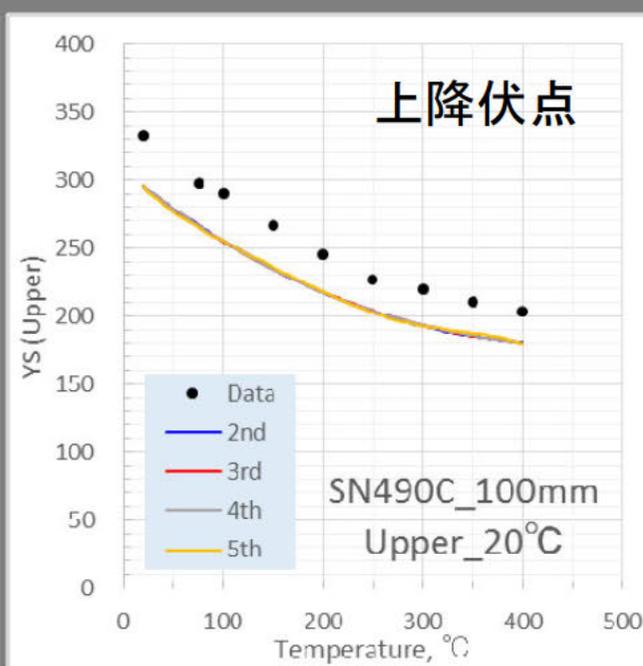
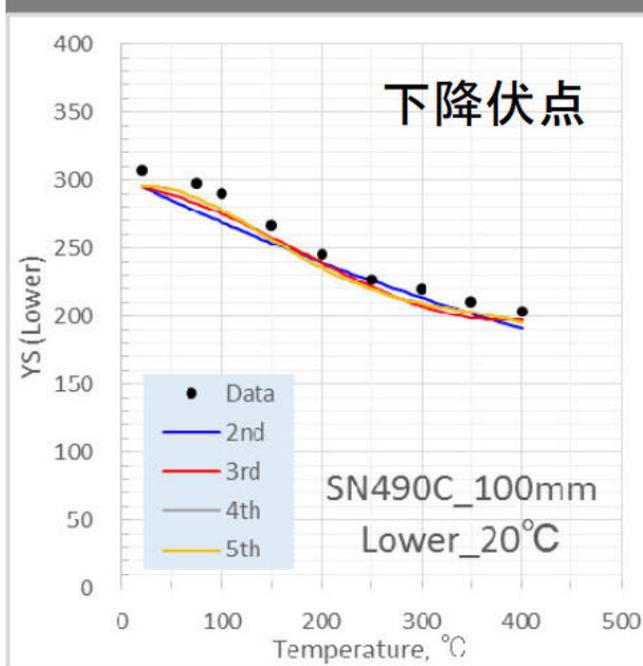
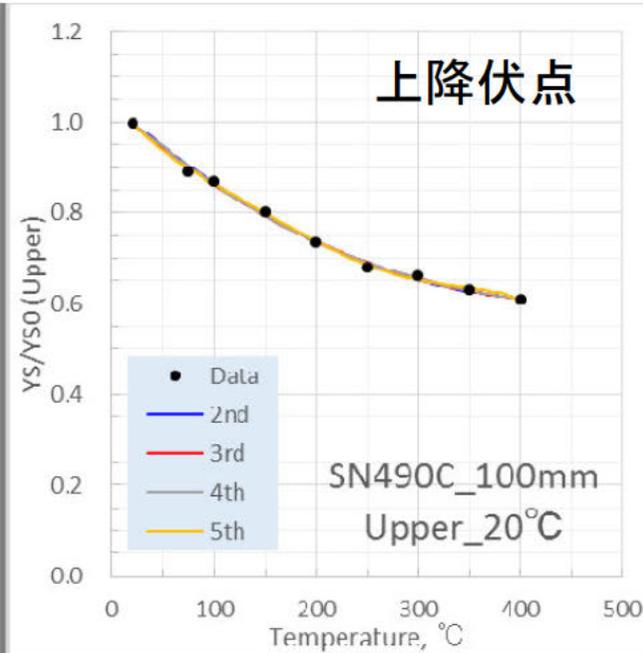
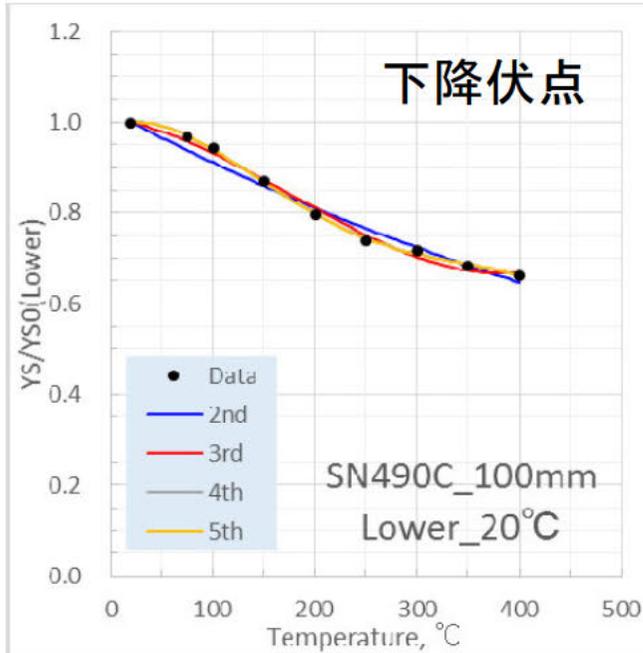
2. 下降伏点／上降伏点_SN490B_100mm



- 下降伏点と上降伏点に対する0.2%耐力比のばらつきの程度に有意差は認められない
- 下降伏点基準に比べて、上降伏点基準の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい



2. 下降伏点／上降伏点_SN490C_100mm

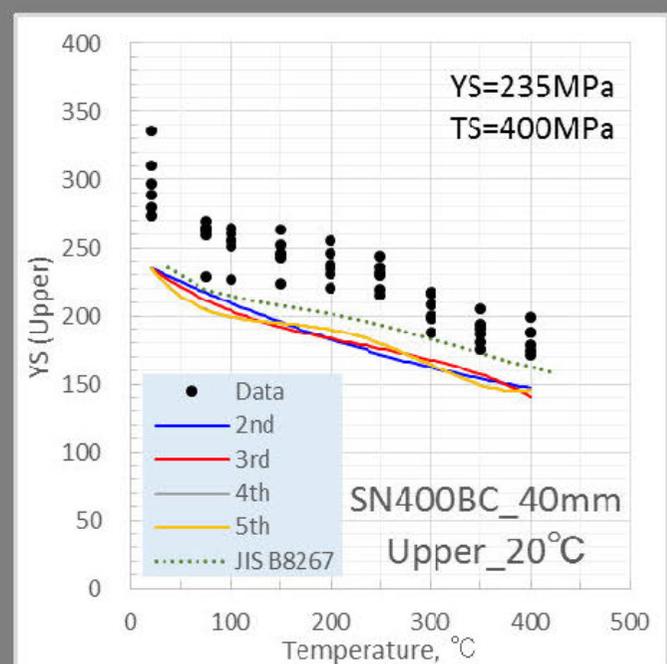
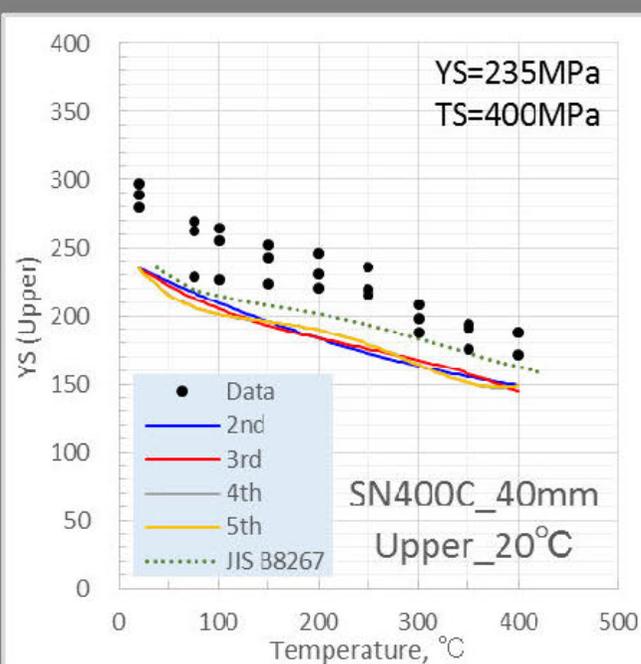
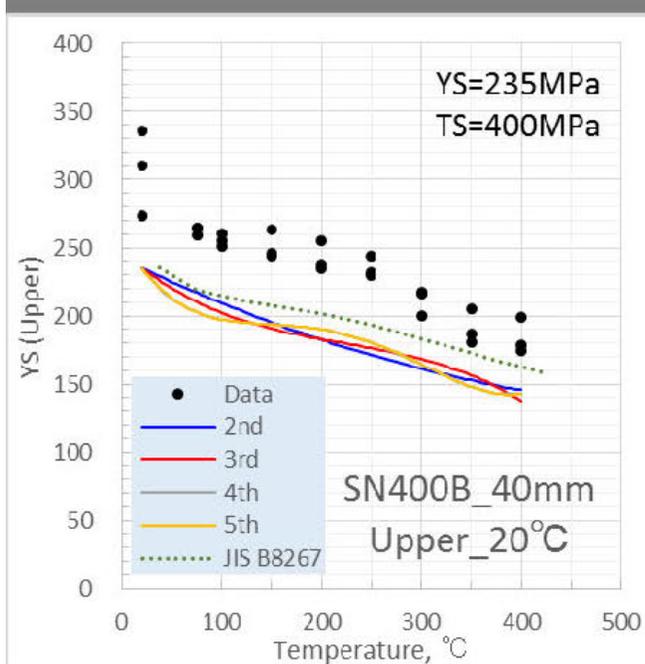
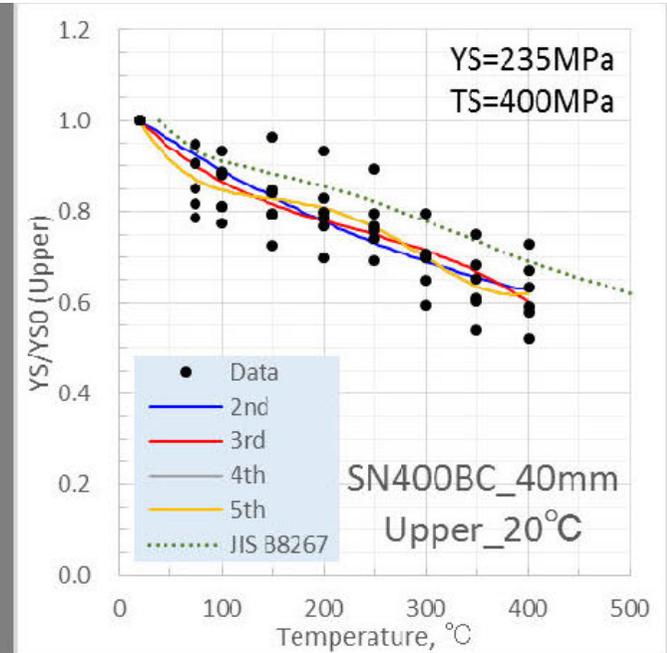
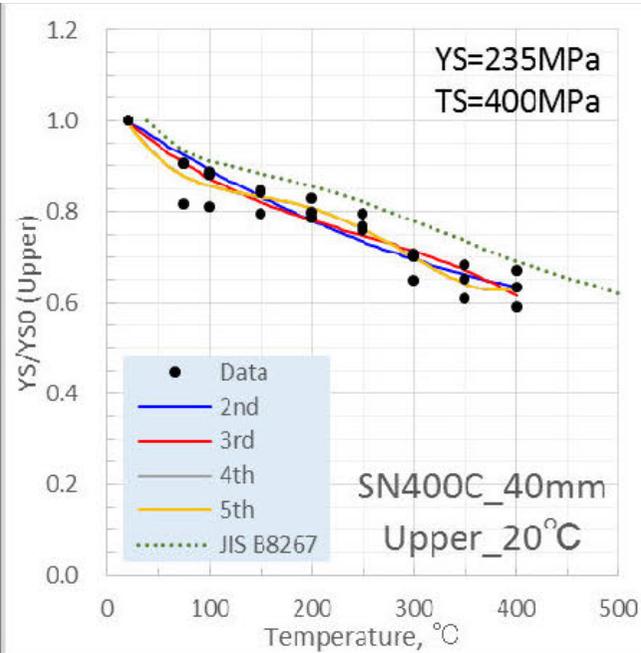
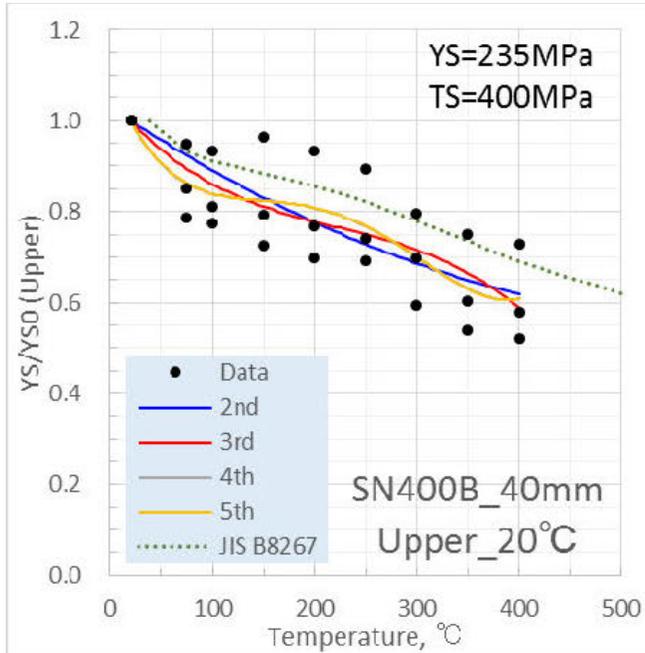


- 下降伏点と上降伏点に対する0.2%耐力比のばらつきの程度に有意差は認められない
- 下降伏点基準に比べて、上降伏点基準の方が保守的な評価結果を与える
- ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

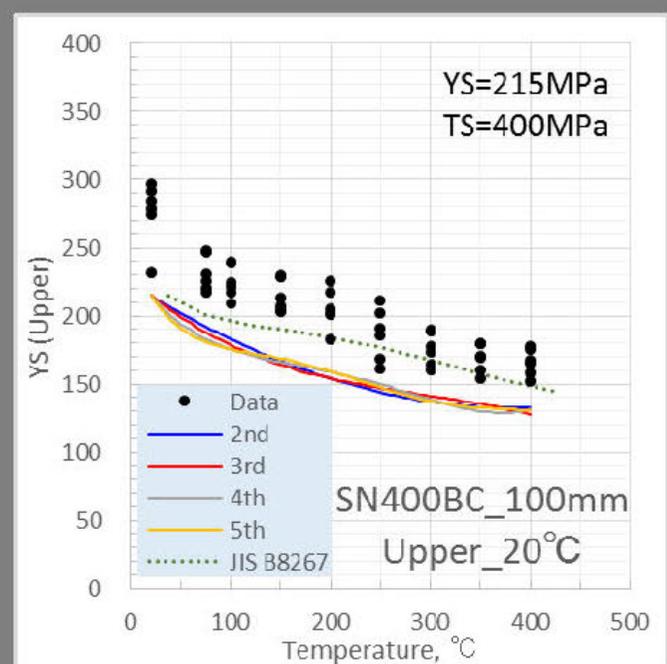
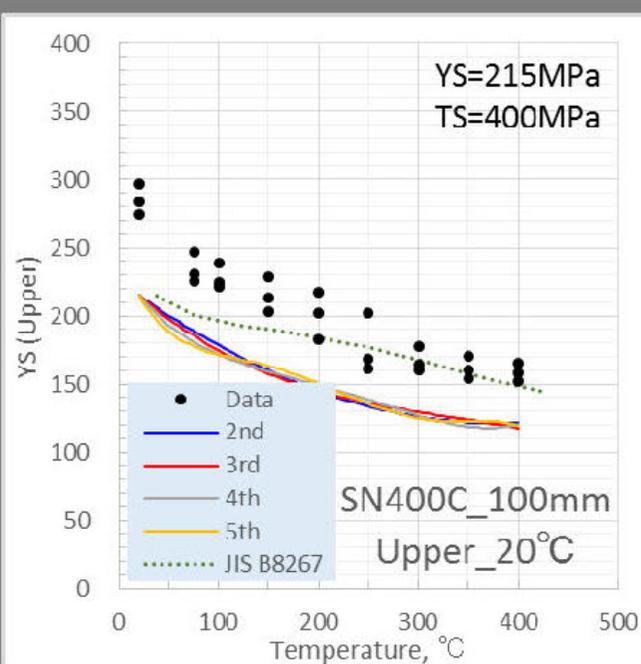
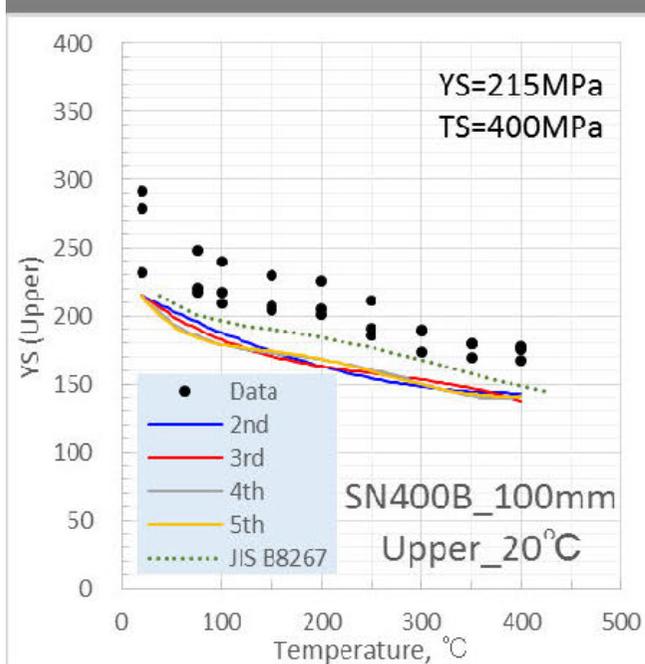
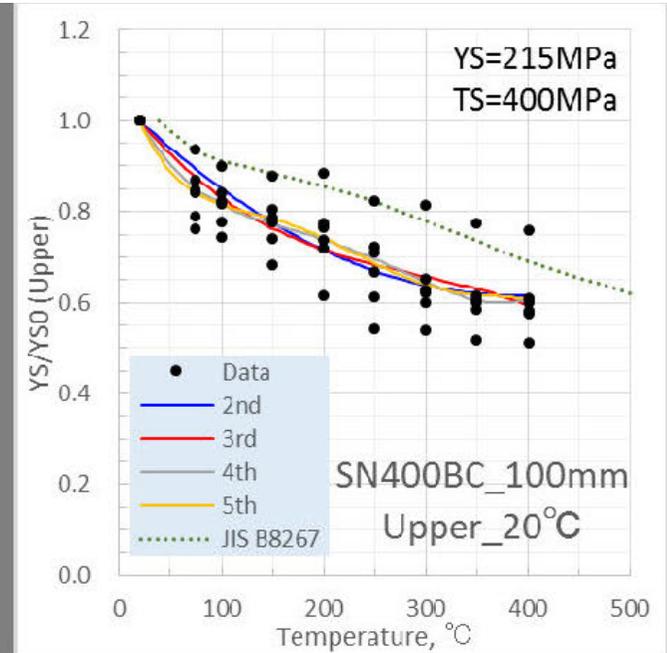
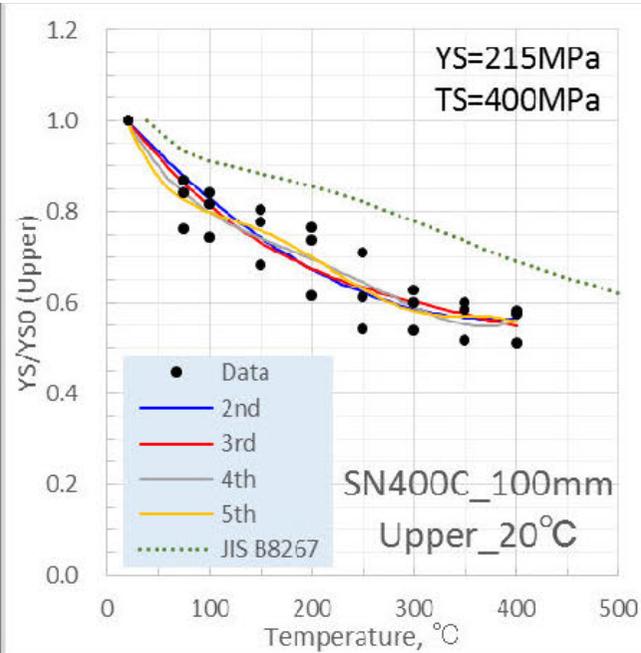
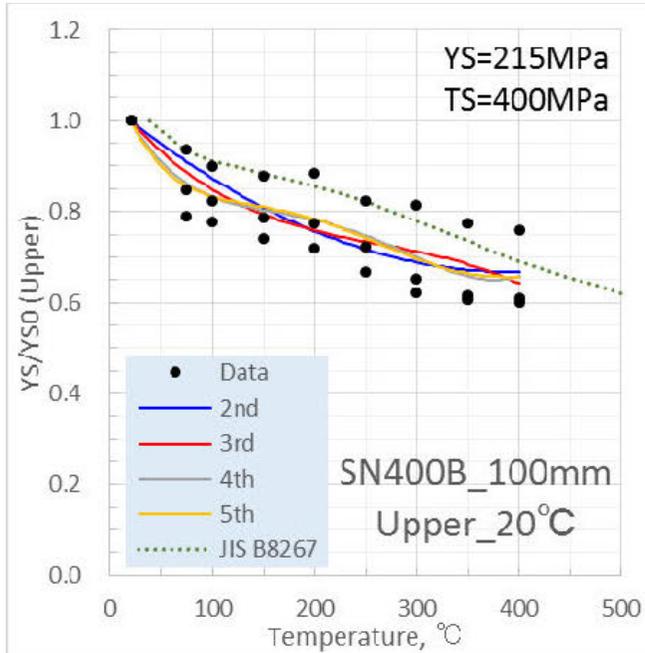
2. 小括：下降伏点／上降伏点

- 室温基準値に上降伏点を用いた場合，下降伏点を用いた場合に比べて0.2%耐力の室温基準値に対する比のばらつきは，必ずしも大きくなるわけではなく，逆にばらつきの程度が小さくなる場合もある
- 室温基準値に下降伏点を用いると，試験結果（データ）の一部が評価結果（ベストフィットトレンドカーブ）を下回る場合があるが，上降伏点を用いると，いずれの鋼種でもベストフィットのトレンドカーブは保守的な評価結果となる
- 以上の結果から，室温の基準値には下降伏点ではなく，上降伏点を用いた方が，保守的なベストフィットトレンドカーブを合理的に評価することができる
- なお，ベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

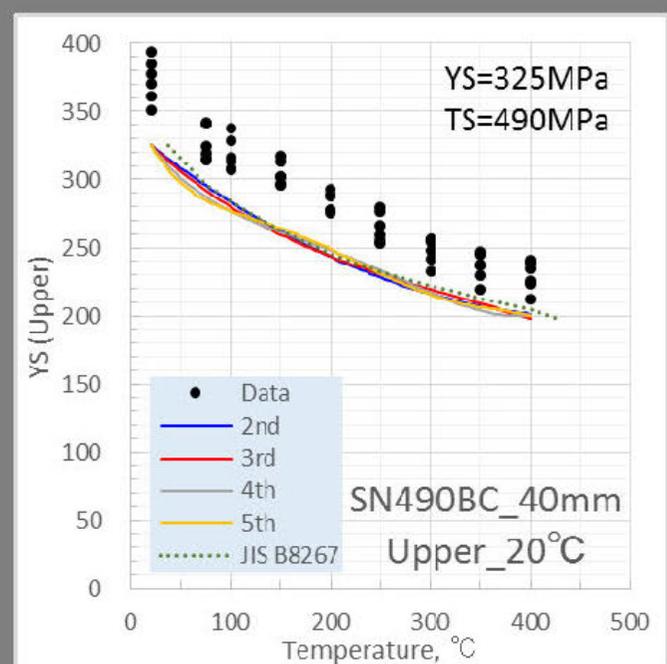
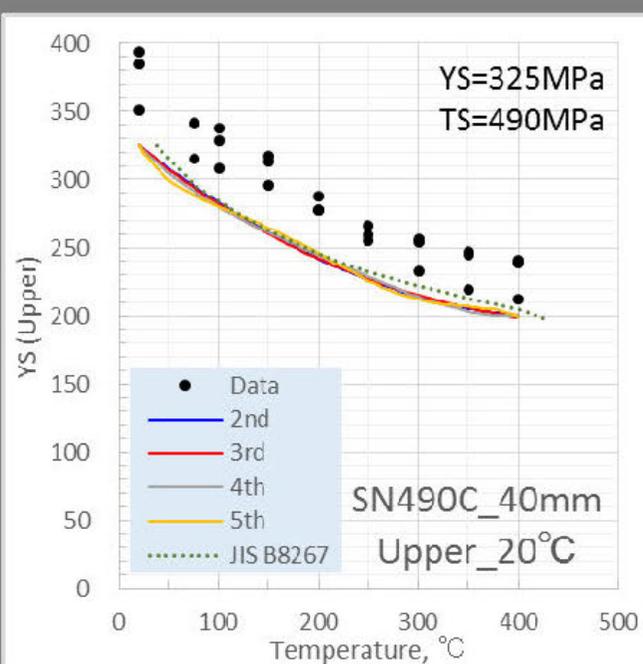
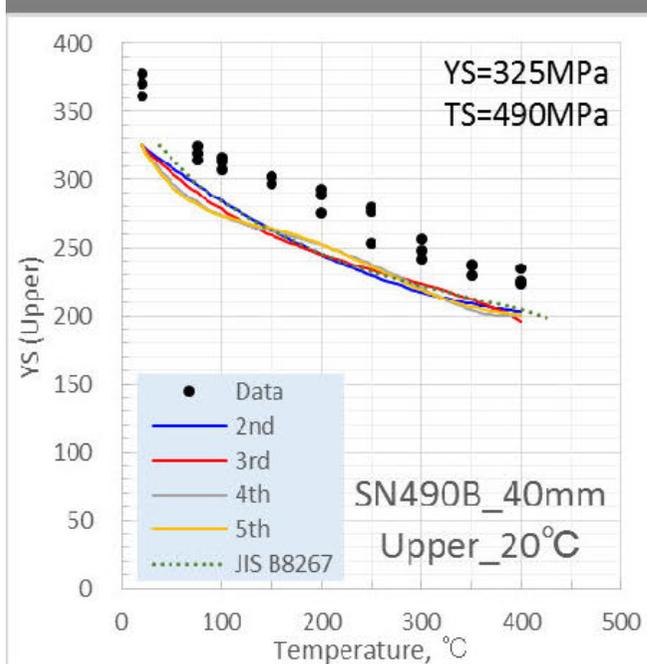
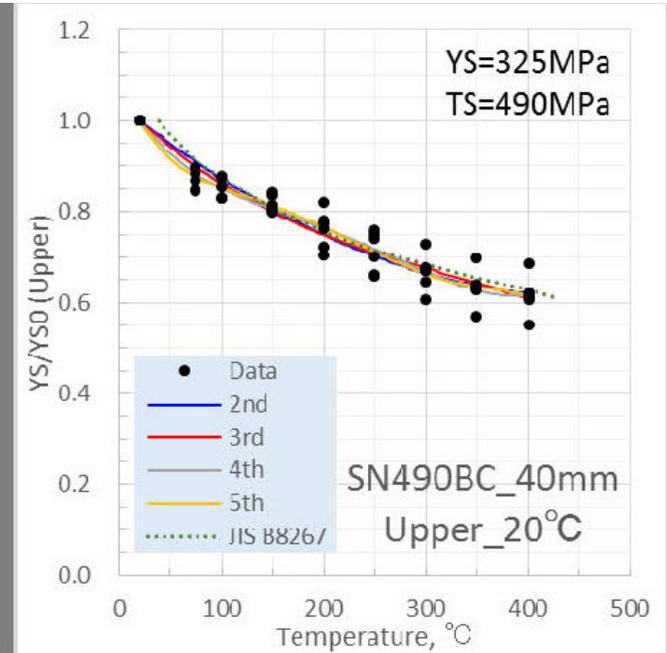
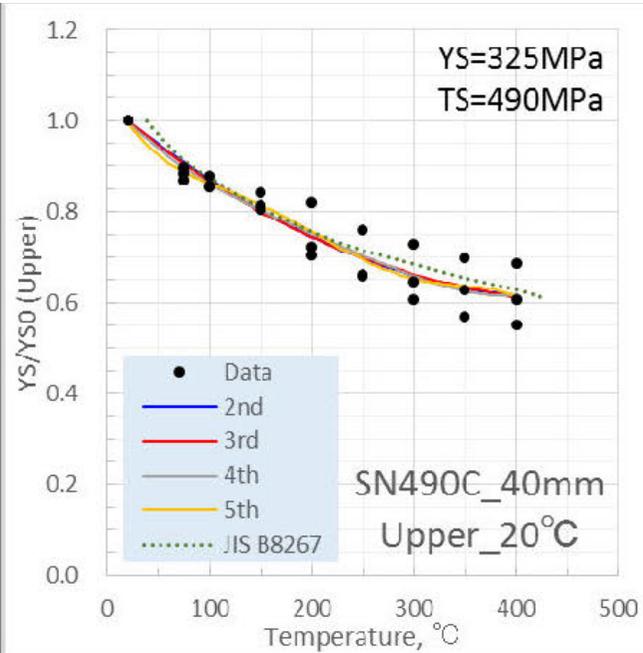
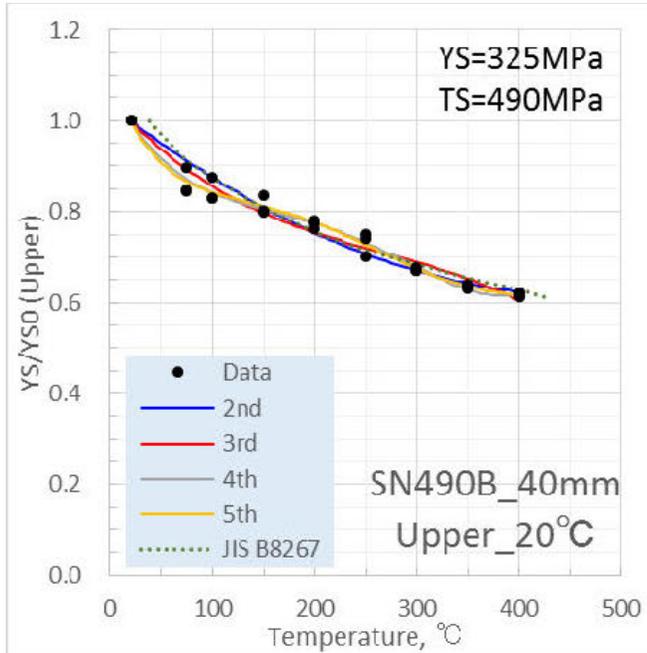
2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN400B&C_40mm



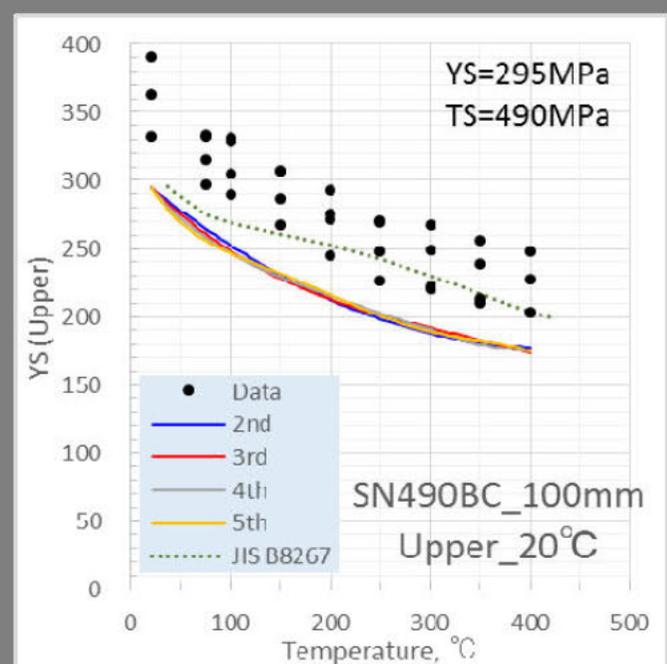
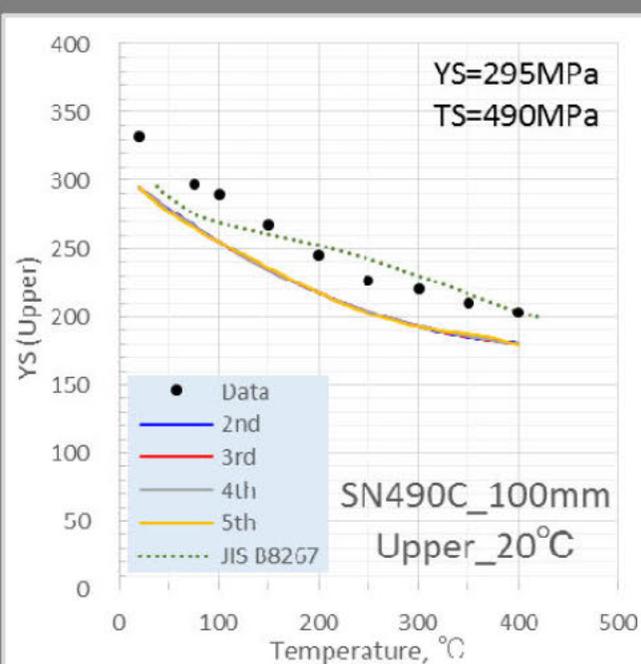
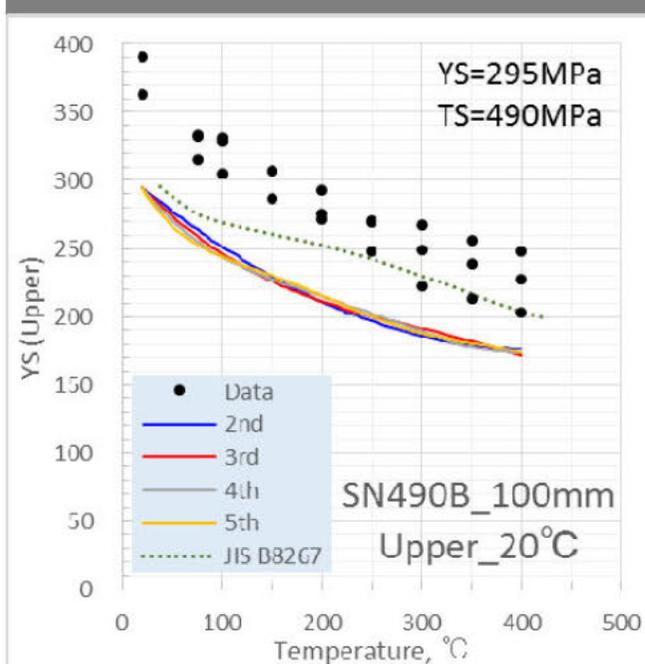
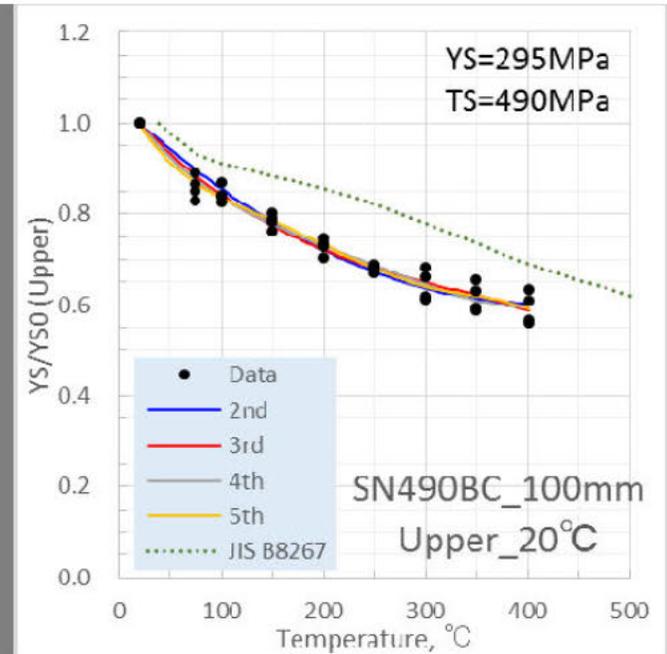
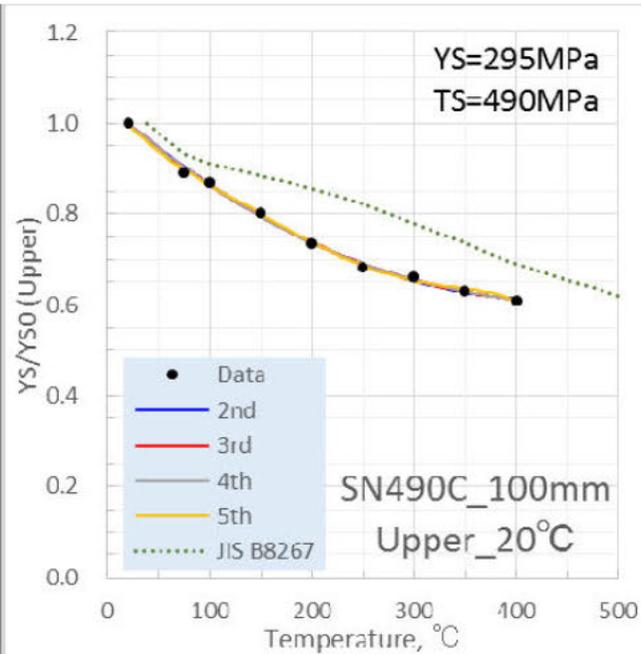
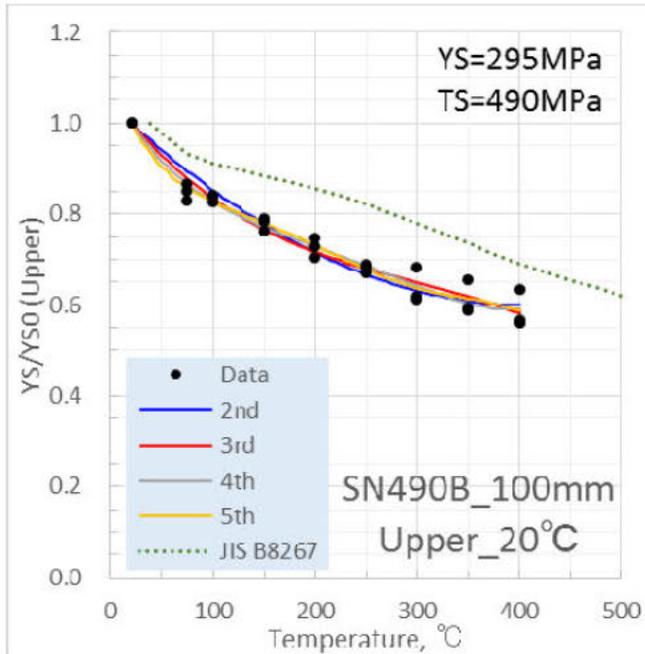
2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN400B&C_100mm



2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN490B&C_40mm



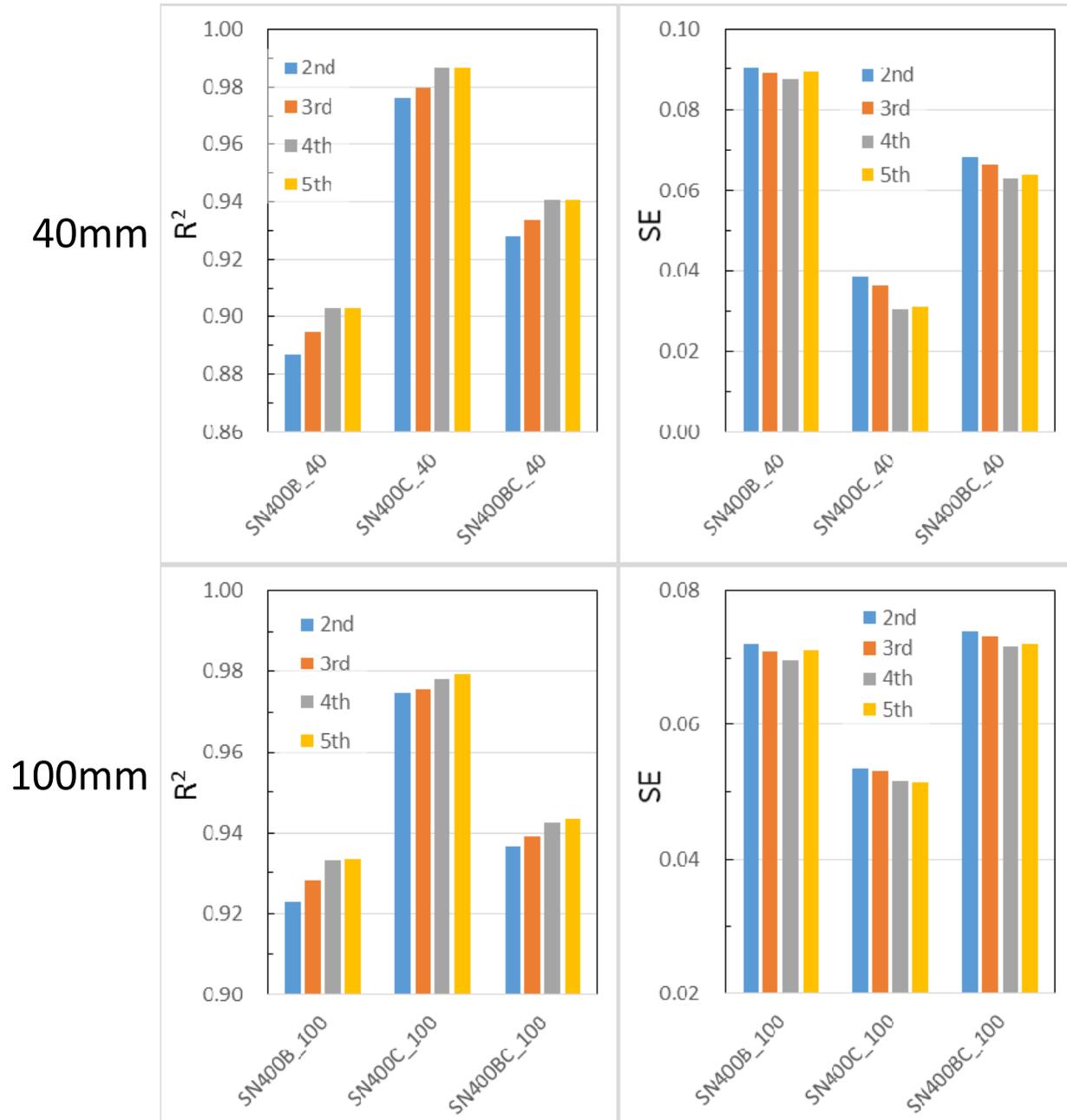
2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ: SN490B&C_100mm



2. ベストフィット or 標準トレンドカーブ

- いずれの鋼種でも、データ解析で求めたベストフィットトレンドカーブの方が、JIS B8267の標準トレンドカーブよりも保守的である
- JIS B8267の標準トレンドカーブを試験結果(データ)が下回る非保守的なケースが認められるが、ベストフィットトレンドカーブではそのような非保守的なケースは認められない
- B材とC材を単独で解析してもその違いは小さく、B材とC材を一括解析した結果と有意差はほとんど認められない
- SN490C, 板厚100mmのTMCP材ではない1ヒートは、SN490B材と同程度の強度特性を示し、B材とC材を個別に解析しても一括解析しても、評価結果は同等である
- 以上の結果から、B材とC材を一括解析して求めたベストフィットトレンドカーブを採用することが妥当と考えられる

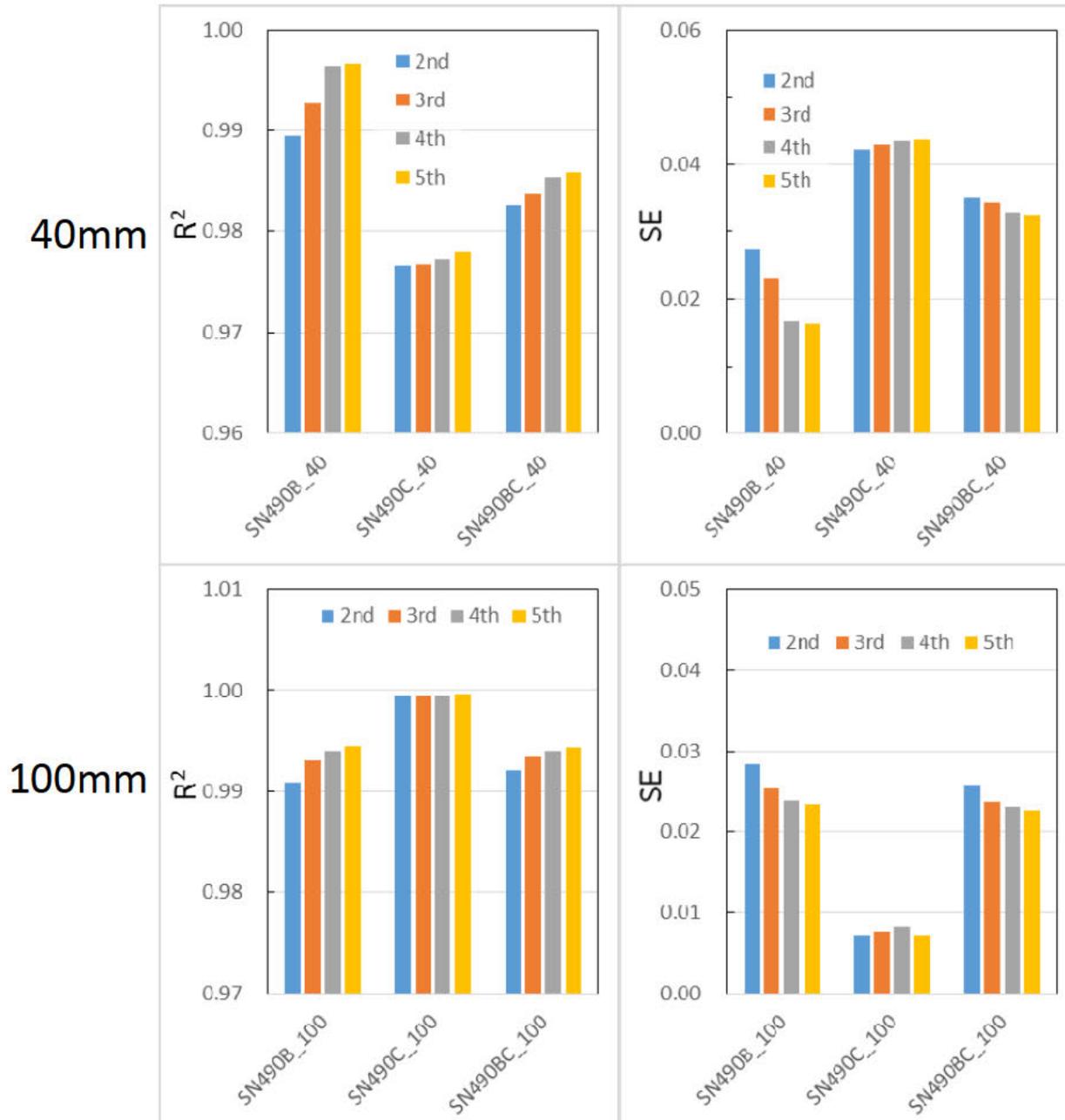
2. 最適回帰次数の選択: SN400B&C, 40&100mm



R²: 大きいほど解析精度は良い
SE: 小さいほど解析精度は良い

- 回帰次数が大きいほど解析精度は向上し, 2次より3次, 3次より4次の方が解析精度は向上するが, 4次と5次の解析精度の違いはわずかである
- 解析で求めたベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい

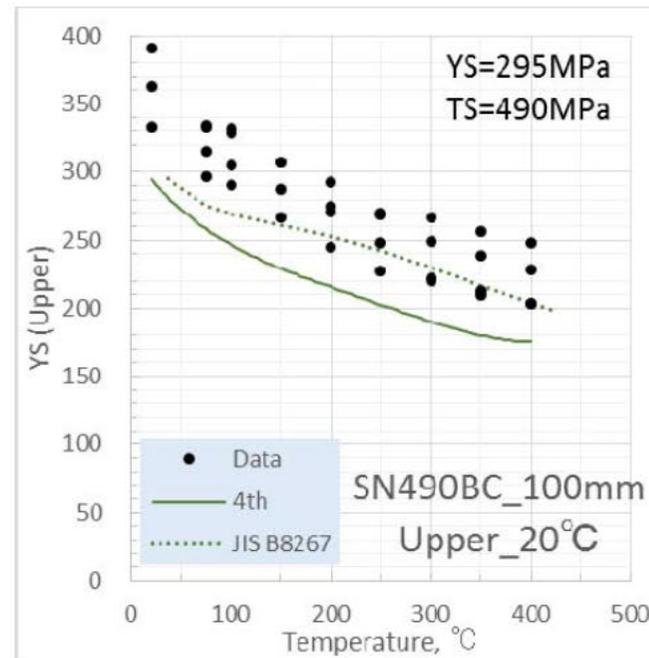
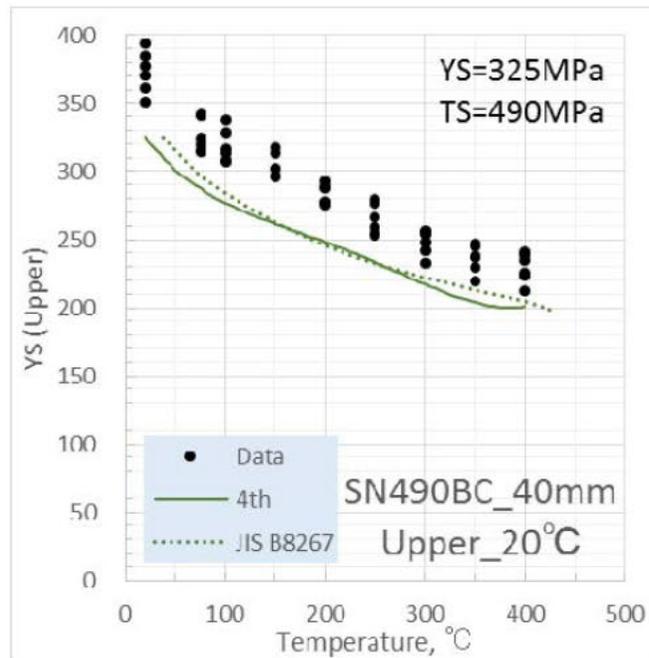
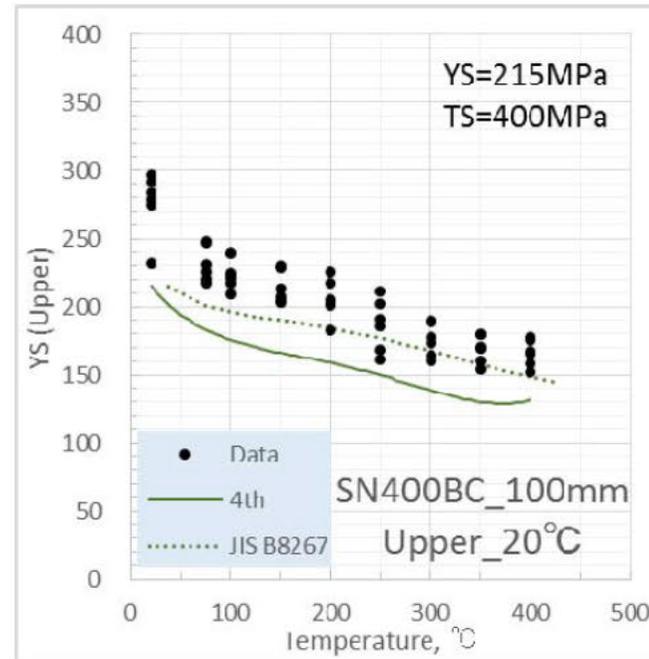
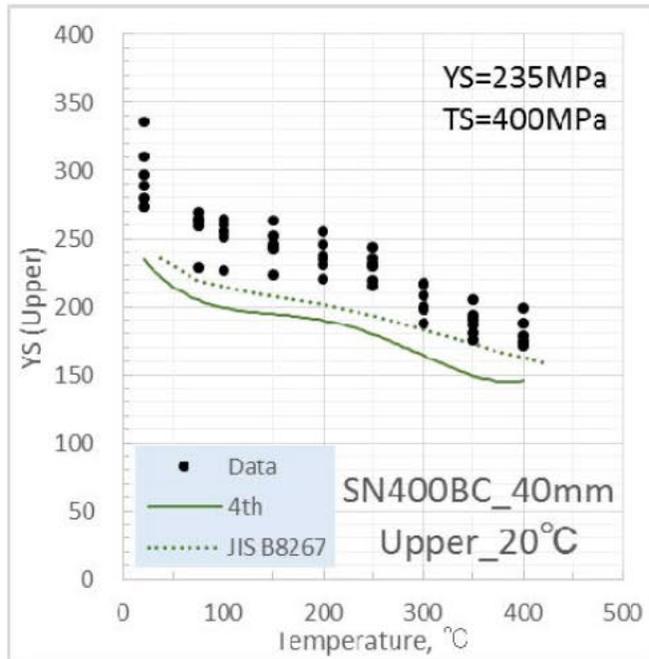
2. 最適回帰次数の選択: SN490B&C, 40&100mm



R²: 大きいほど解析精度は良い
SE: 小さいほど解析精度は良い

- 回帰次数が大きいほど解析精度は向上し, 2次より3次, 3次より4次の方が解析精度は向上するが, 4次と5次の解析精度の違いはわずかである
- 解析で求めたベストフィットトレンドカーブの形状等に及ぼす回帰次数の影響は小さい
- 以上の結果から, 4次回帰の解析結果を選択するのが妥当と考えられる

2. σ_y 値のトレンドカーブ

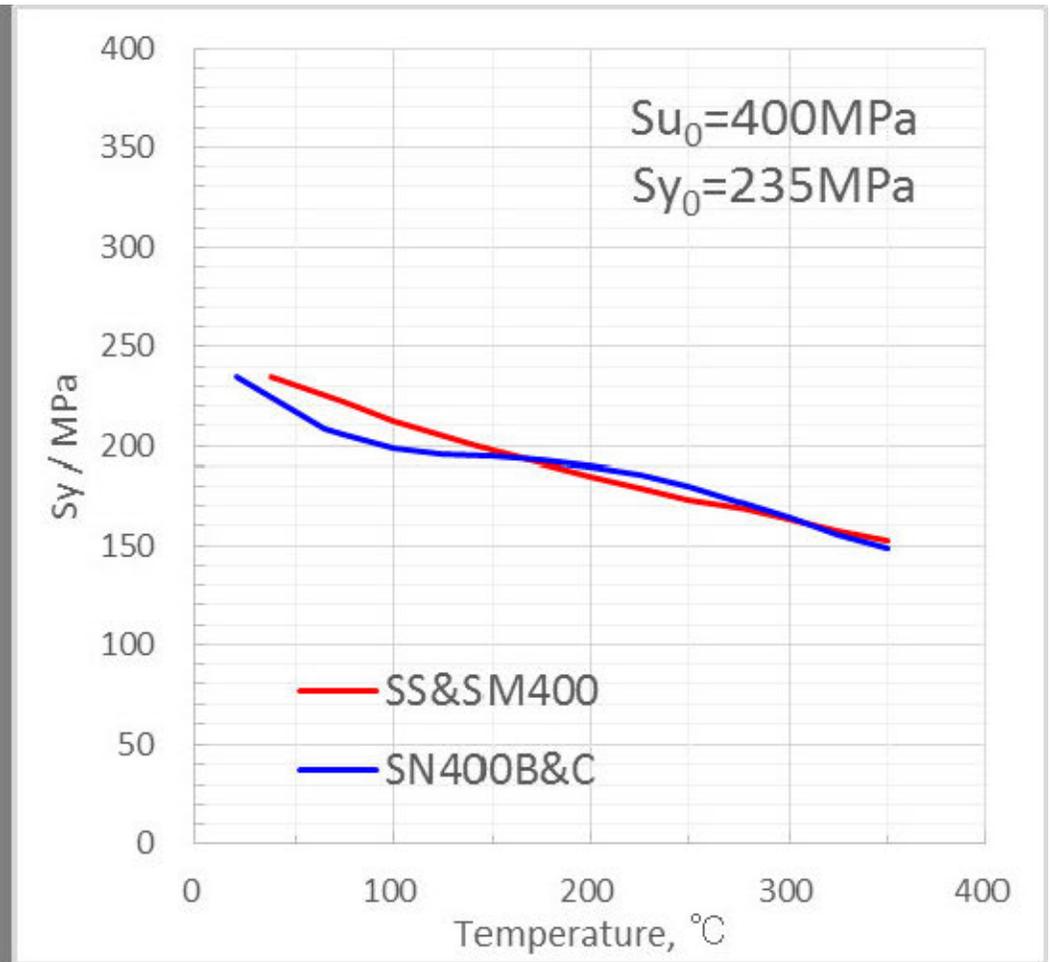
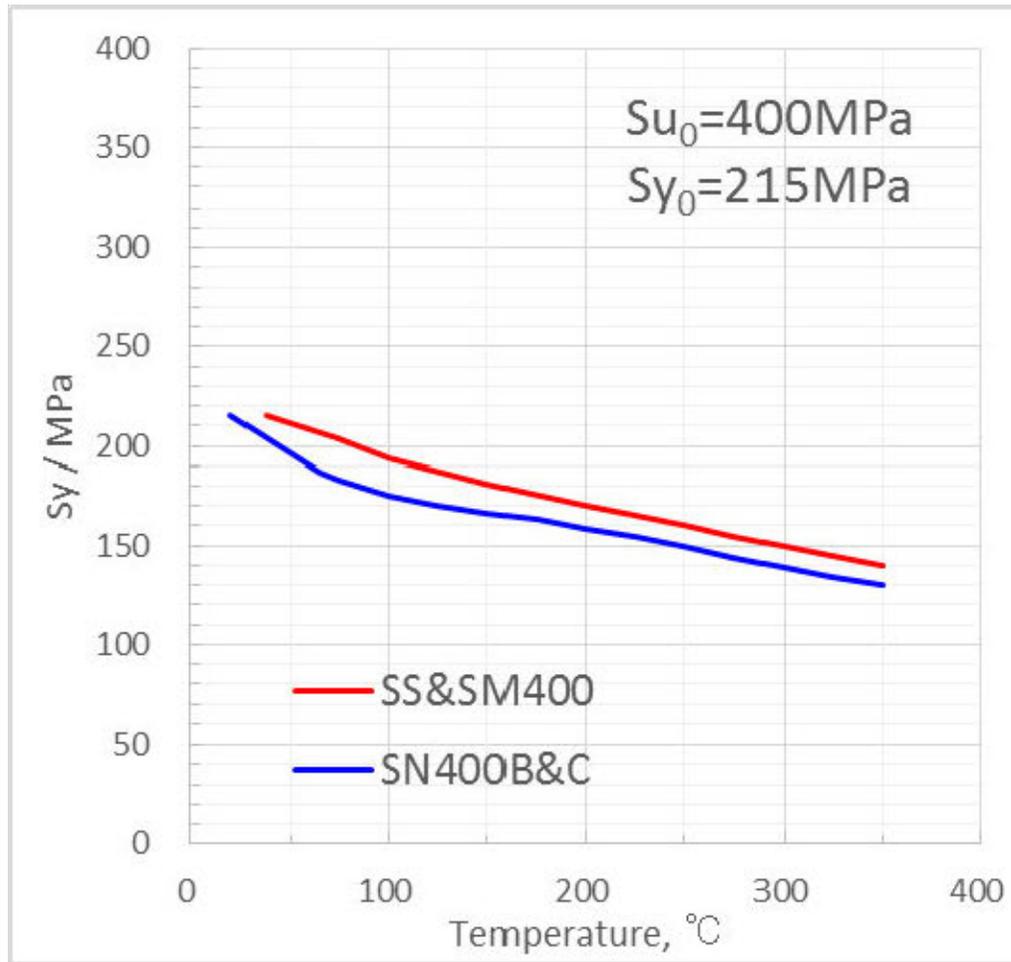


3 考察: SS, SM材とのSyの比較

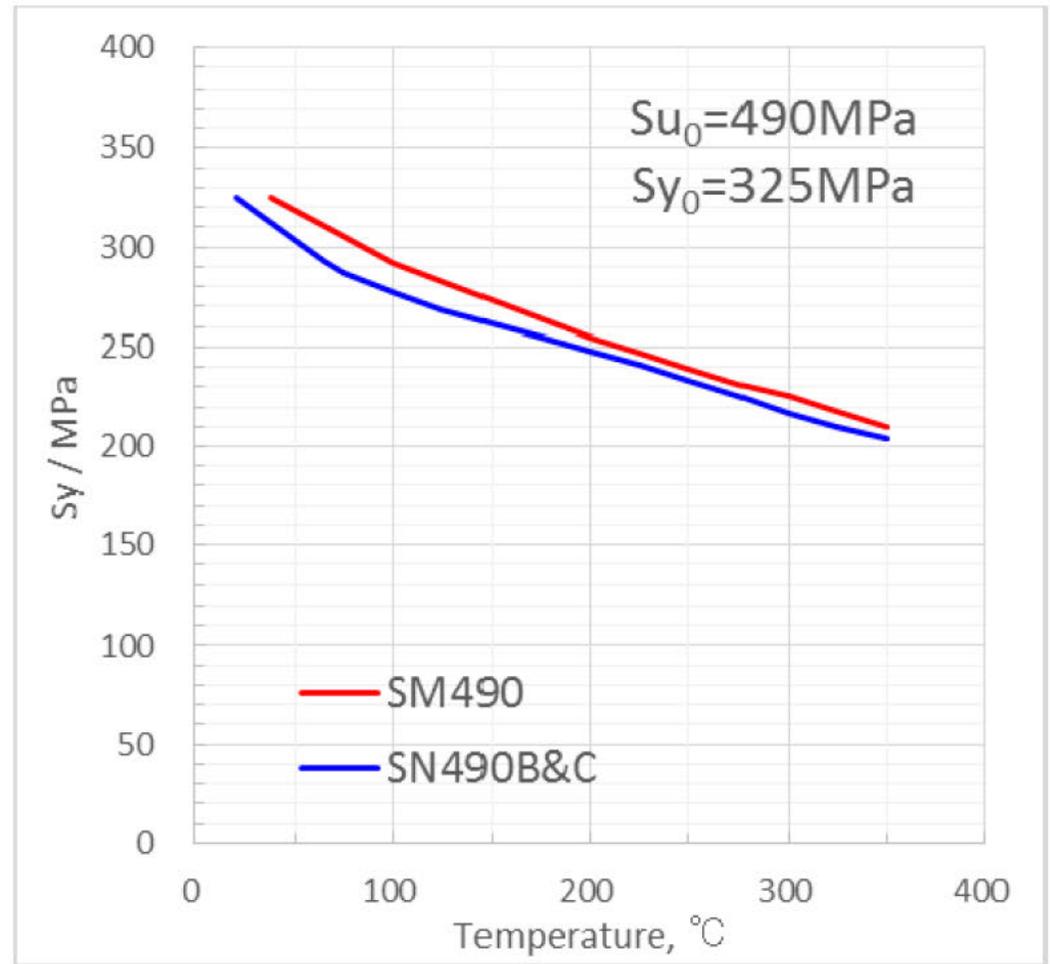
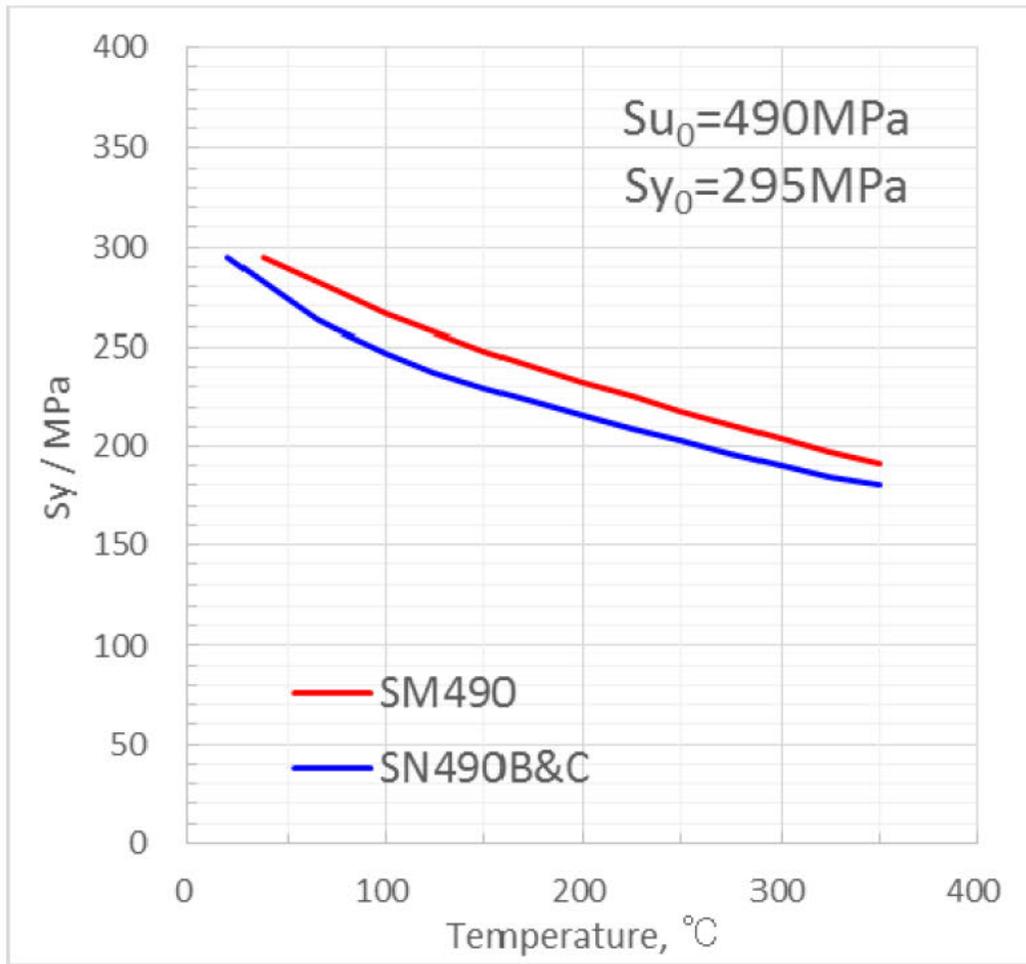
B材とC材一括解析による変更箇所

記号	常温の 最小 引張強さ MPa	常温の 最小 降伏点 MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SS400	400	215	215	-	203	194	-	181	-	170	165	160	155	150	145	140
SM400A		235	235	-	222	212	-	198	-	185	179	173	169	163	158	153
SM400B		245	245	-	231	221	-	207	-	193	187	181	176	170	165	159
SM400C																
SM490A	490	295	295	-	278	266	-	248	-	232	225	218	211	204	197	191
SM490B		315	315	-	296	283	-	265	-	247	239	232	225	218	209	204
SM490C		325	325	-	305	292	-	273	-	255	247	239	231	225	218	210
SN400B	400	215	215	187	183	175	170	166	163	159	155	150	144	139	134	130
SN400C		235	235	208	205	199	196	195	193	190	186	180	172	164	156	149
SN490B	490	295	295	264	258	247	237	229	222	215	209	203	196	190	185	180
SN490C		325	325	292	287	277	269	262	255	248	241	233	225	217	210	204

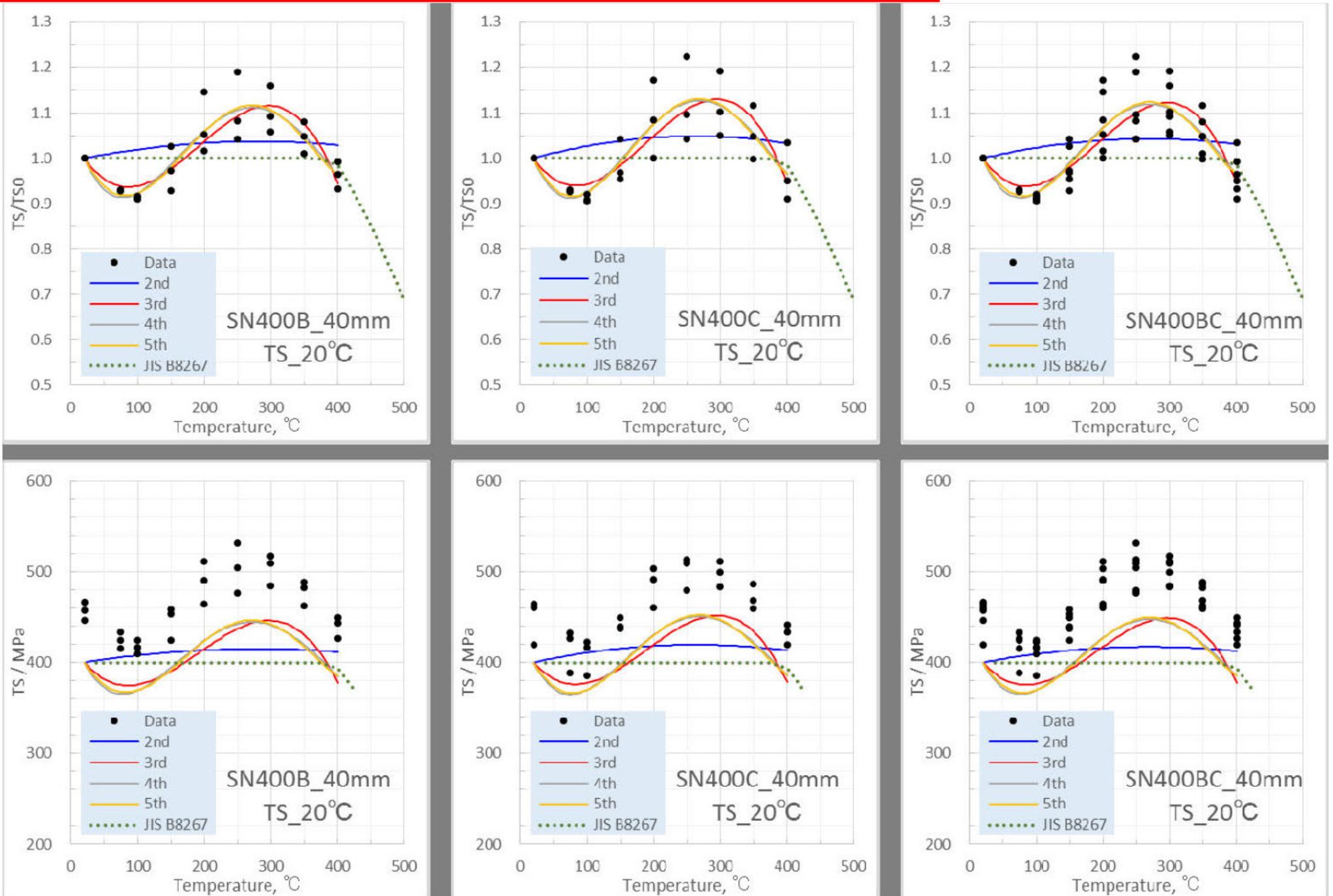
3. 考察: SS, SM材との S_y の比較



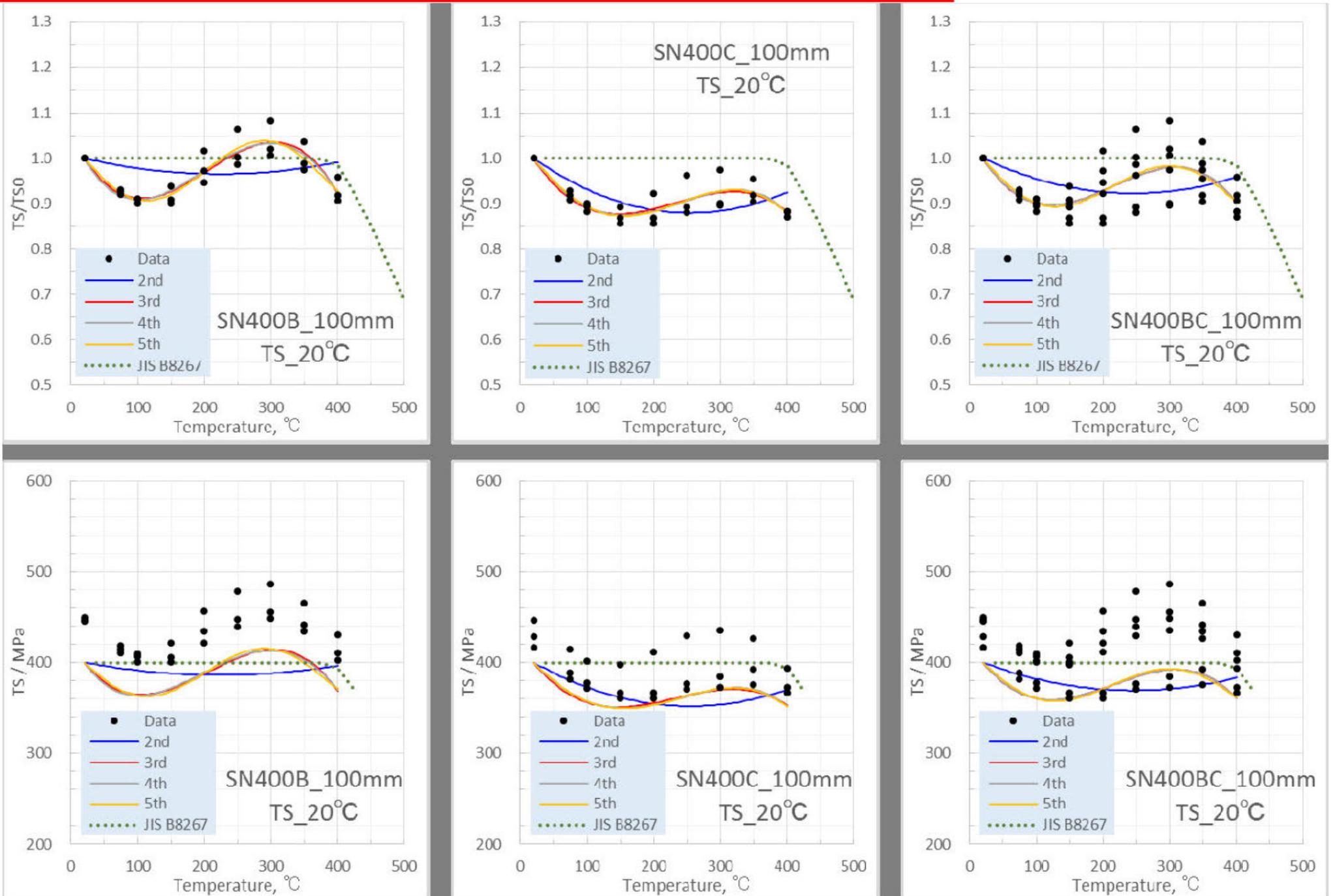
3 考察 SS, SM材との S_y の比較



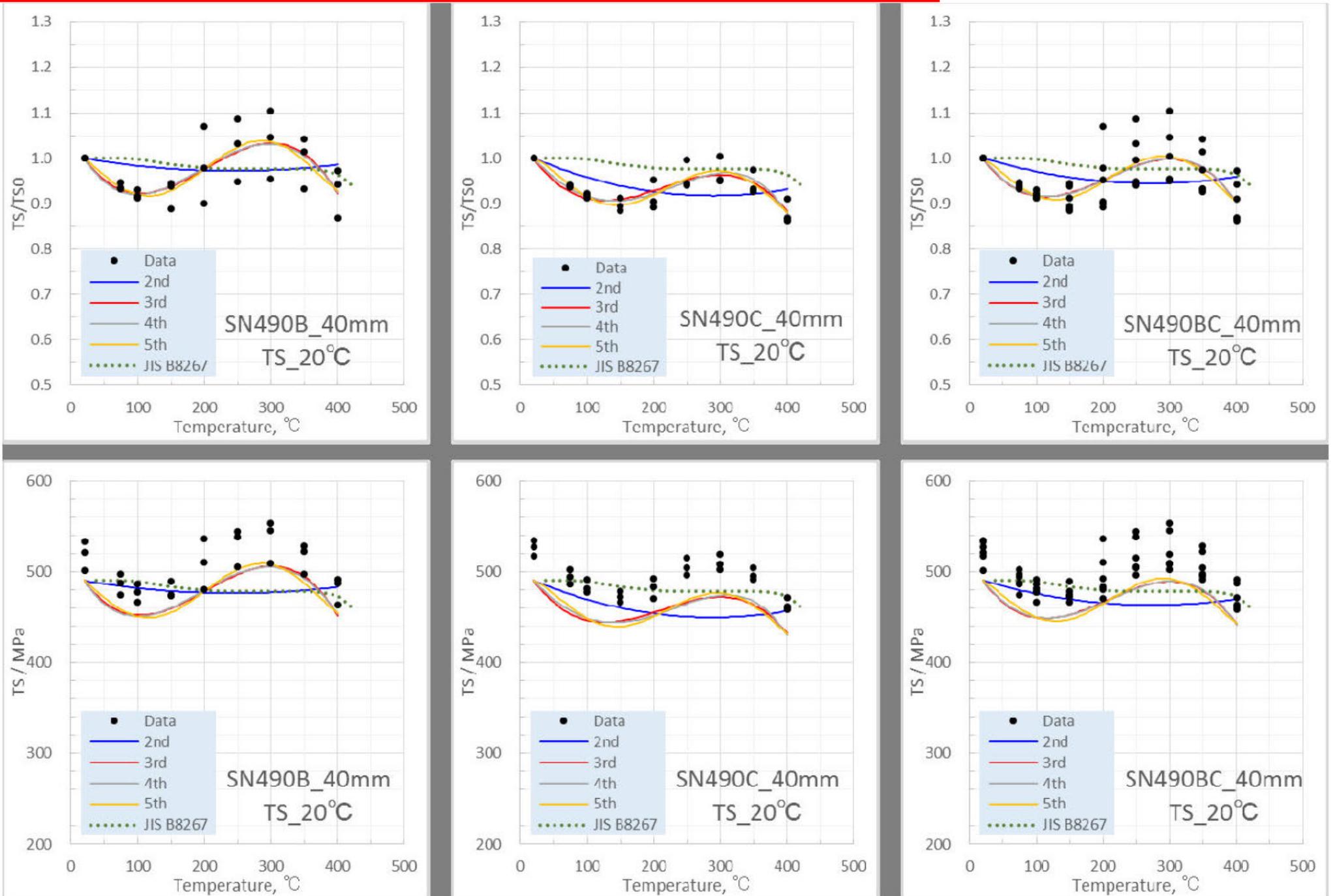
2. Su値のトレンドカーブ: SN400B&C_40mm



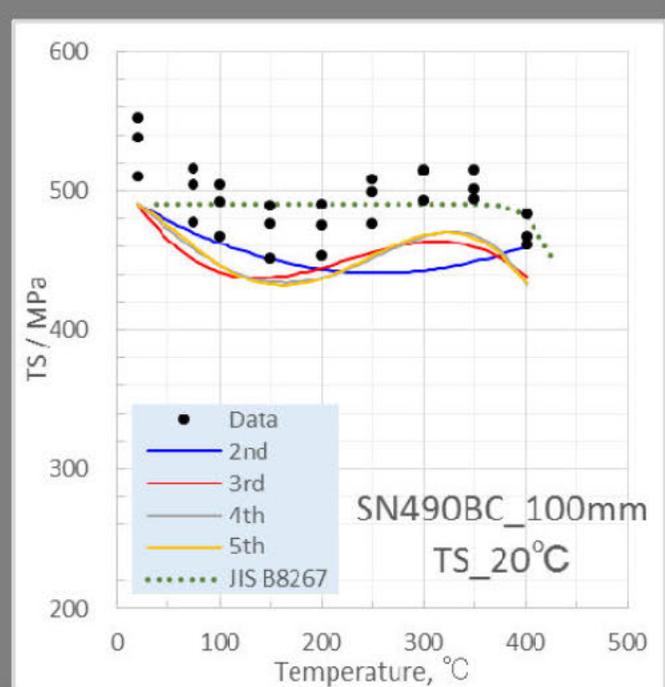
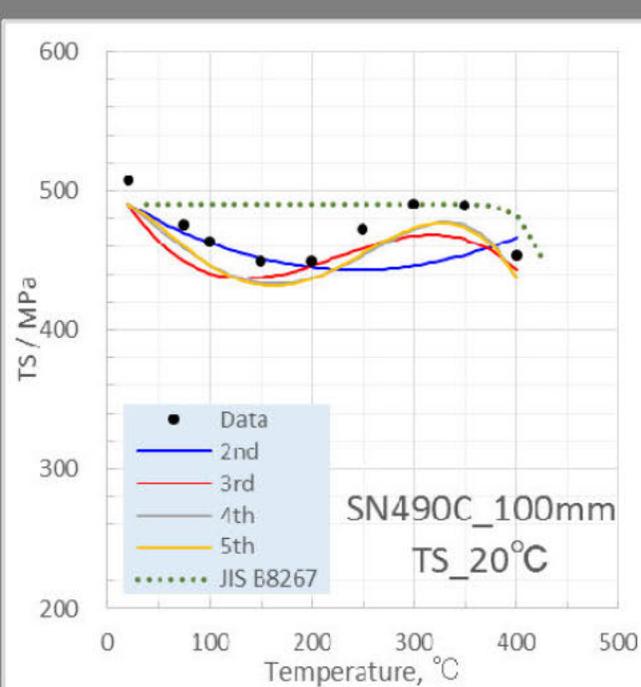
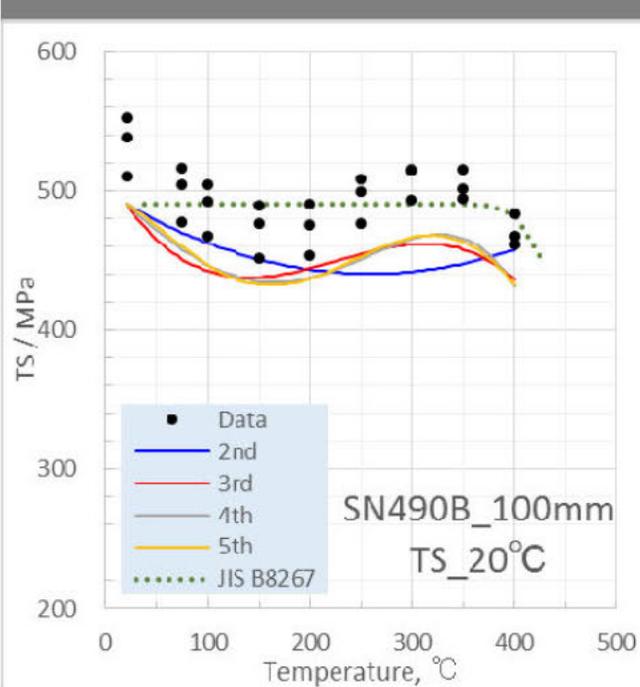
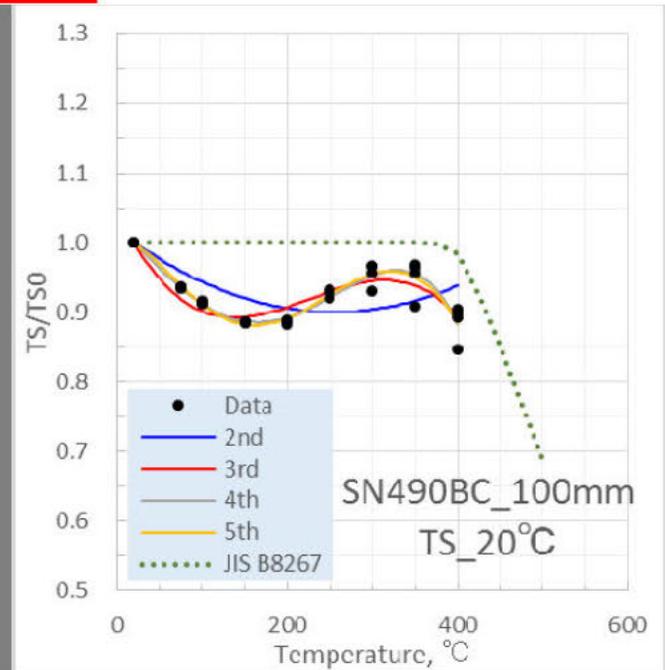
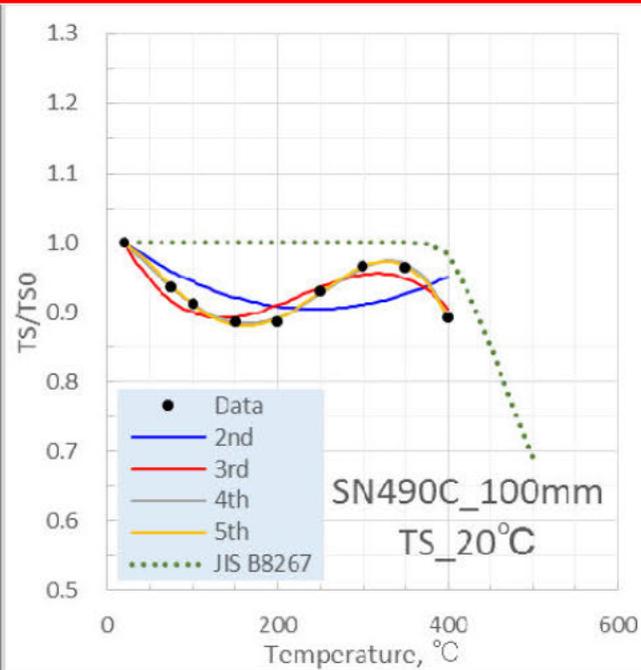
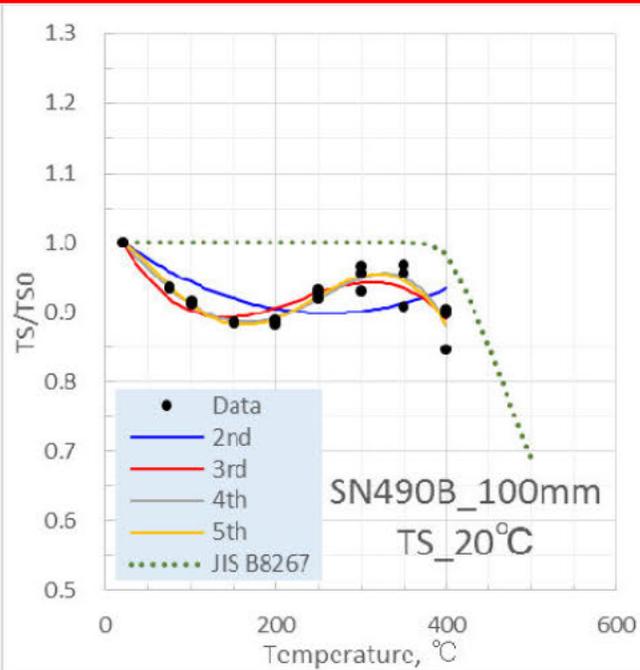
2 Su値のトレンドカーブ: SN400B&C_100mm



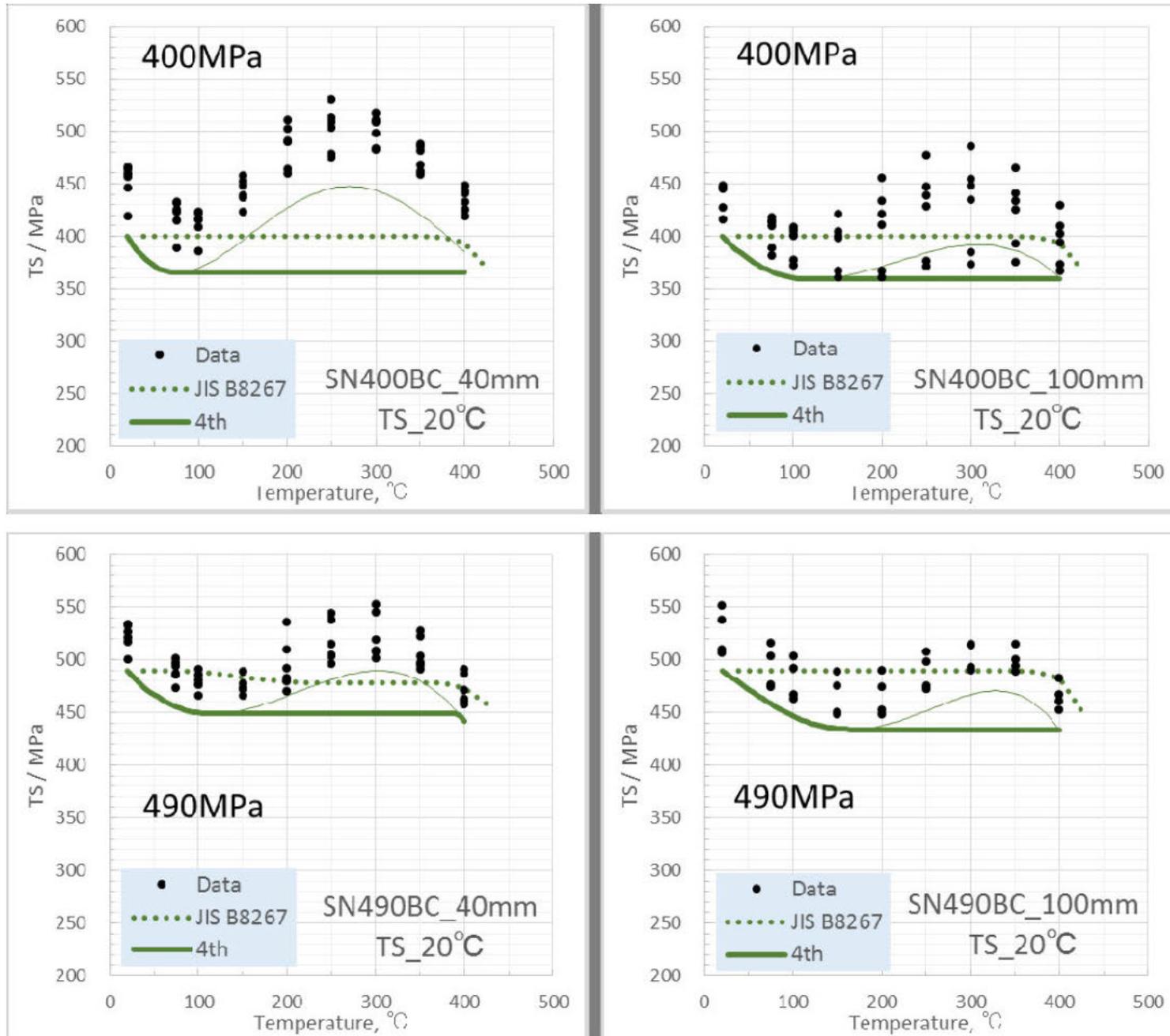
2. Su値のトレンドカーブ: SN490B&C_40mm



2 Su値のトレンドカーブ SN490B&C_100mm



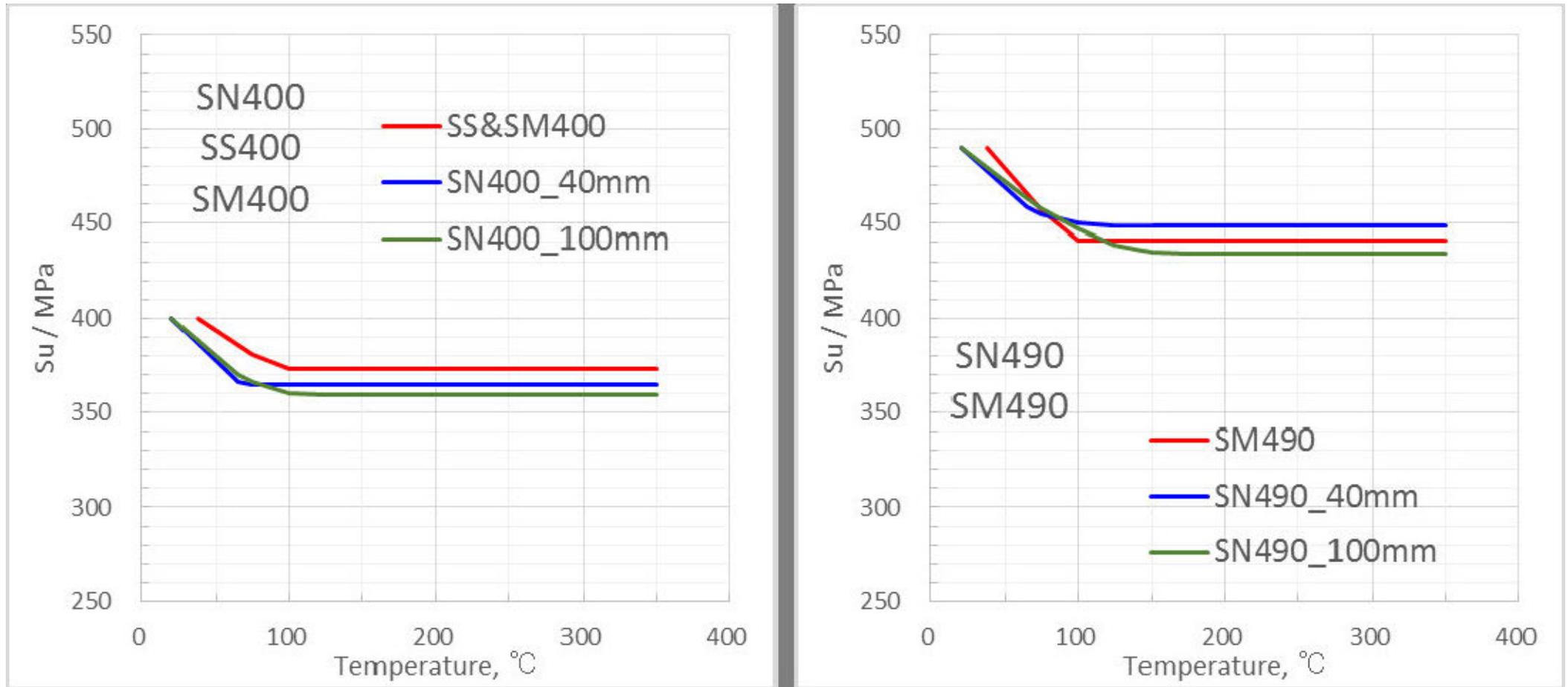
2. Su値のトレンドカーブ: 資料28-7-3(室温規定値の引下げ無し)



3. 考察: SS, SM材とのSuの比較

記号	常温の 最小 引張強さ MPa	常温の 最小 降伏点 MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	
SS400	400	215	400	-	381	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	
SM400A		235															
SM400B		245															
SM400C																	
SM490A	490	295	490	-	457	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	441	
SM490B		315															
SM490C		325															
SN400B	400	215	400	370	366	360	359	359	359	359	359	359	359	359	359	359	359
SN400C		235	400	366	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365
SN490B	490	295	490	463	458	447	439	435	434	434	434	434	434	434	434	434	434
SN490C		325	490	459	455	450	449	449	449	449	449	449	449	449	449	449	449

3. 考察: SS, SM材とのSuの比較



3. 考察：S値(SN400B, SN400C)

SN400B, SN400C S_T : 400MPa S_Y : 215MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.926	0.916	0.901	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.870	0.851	0.816	0.791	0.773	0.756	0.738	0.719	0.696	0.671	0.645	0.622	0.605
$1/3.5 \times S_T$	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	125.7	116.4	115.2	113.3	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8	112.8
$2/3 \times S_Y$	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3	143.3
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	143.3	124.7	122.0	116.9	113.4	110.7	108.3	105.8	103.0	99.7	96.2	92.5	89.1	86.7
S	114.3	114.3	114.3	113.3	112.8	110.7	108.3	105.8	103.0	99.7	96.2	92.5	89.1	86.7

SN400B, SN400C S_T : 400MPa S_Y : 235MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.916	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913	0.913
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.885	0.871	0.848	0.836	0.828	0.820	0.808	0.790	0.765	0.734	0.699	0.665	0.636
$1/3.5 \times S_T$	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	125.7	115.1	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8	114.8
$2/3 \times S_Y$	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	156.7	138.6	136.4	132.8	130.9	129.7	128.5	126.6	123.7	119.8	115.0	109.6	104.2	99.6
S	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	114.3	109.6	104.2	99.6

3 考察：S値(SN490B, SN490C)

朱書き：B材とC材一括解析による変更箇所

SN490B, SN490C S_T : 490MPa S_Y : 295MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.946	0.935	0.912	0.895	0.887	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885	0.885
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.893	0.875	0.836	0.804	0.777	0.753	0.730	0.709	0.687	0.666	0.645	0.626	0.610
$1/3.5 \times S_T$	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	154.0	145.6	144.0	140.4	137.9	136.6	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4	136.4
$2/3 \times S_Y$	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7	196.7
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	196.7	175.7	172.1	164.4	158.2	152.8	148.1	143.6	139.4	135.1	130.9	126.9	123.2	120.0
S	140.0	140.0	140.0	140.0	137.9	136.6	136.4	136.4	136.4	135.1	130.9	126.9	123.2	120.0

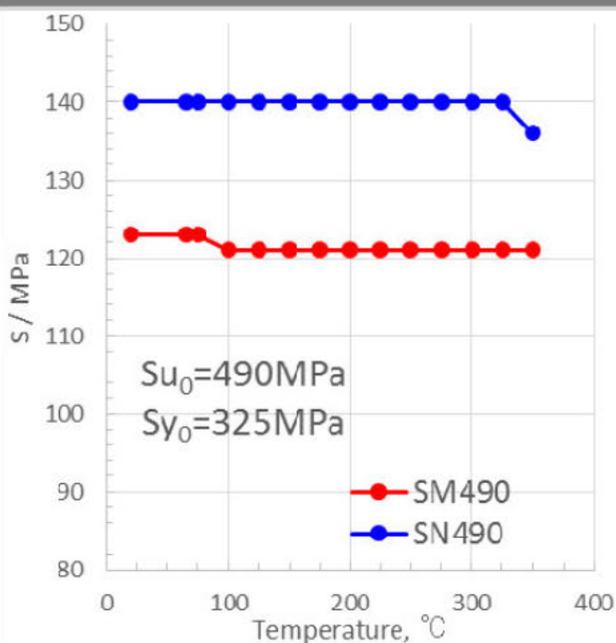
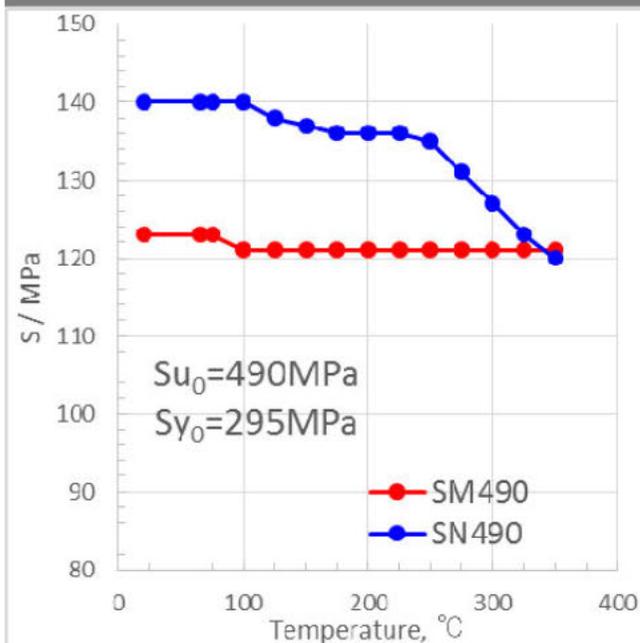
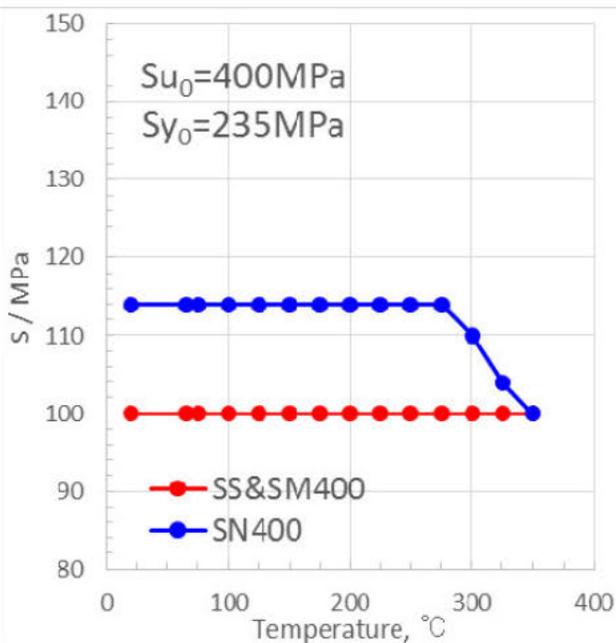
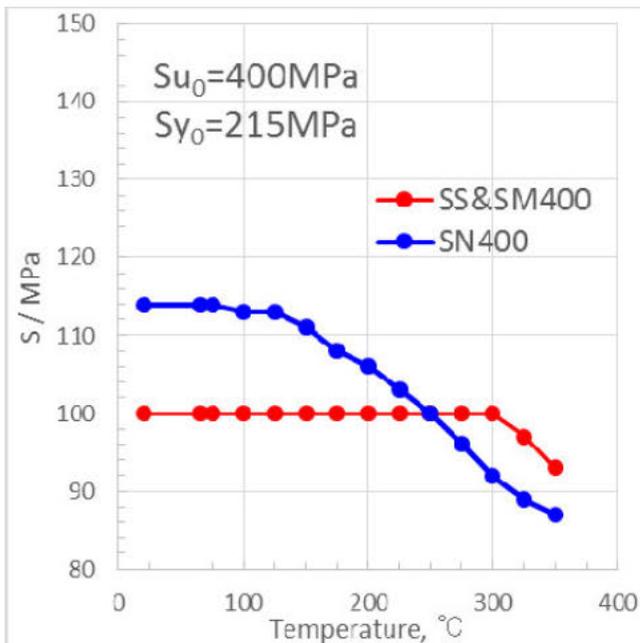
SN490B, SN490C S_T : 490MPa S_Y : 325MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
$S_{ut}/S_u (R_T)$	1.000	0.937	0.930	0.918	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916	0.916
$S_{yt}/S_y (R_Y)$	1.000	0.900	0.884	0.852	0.826	0.805	0.784	0.764	0.741	0.718	0.693	0.668	0.645	0.627
$1/3.5 \times S_T$	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
$(1.1)/3.5 \times S_T \times R_T$	154.0	144.4	143.1	141.4	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1	141.1
$2/3 \times S_Y$	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7	216.7
$2/3 \times S_Y \times R_Y$	216.7	195.0	191.6	184.5	179.0	174.3	169.9	165.4	160.6	155.5	150.1	144.7	139.8	135.8
S	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	139.8	135.8

3. 考察：SS, SM材とのS値の比較

朱書き：B材とC材一括解析による変更箇所

記号	常温の 最小 引張強さ MPa	常温の 最小 降伏点 MPa	-30 ~ 40	65	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
SS400	400	215	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	93
SM400A		235	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SM400B		245	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SM400C			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SM490A	490	295	123	123	123	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
SM490B		315	123	123	123	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
SM490C		325	123	123	123	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
SN400B	400	215	114	114	114	113	113	111	108	106	103	100	96.2	92.5	89.1	86.7
SN400C		235	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	110	104
SN490B	490	295	140	140	140	140	138	137	136	136	136	135	131	127	123	120
SN490C		325	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140

3 考察: SS, SM材とのS値の比較



- SN400, 100mm板厚材のS値は、250°C以下ではSS&SM400より高いが、250°Cを超える高温域ではSS&SM400よりも低い

SN400, 40mm板厚材のS値は、室温から350°Cまでの温度域で、SS&SM400と同等以上である

SN490, 100mm板厚材のS値は、350°CでSS&SM490の値を若干下回るが、325°C以下の温度域ではSS&SM400の値より高い

SN490, 40mm板厚材のS値は、室温から350°Cまでの温度域で、SS&SM400の値よりも高い

以上の結果より、SN400の40mm及び100mm板厚材とSN490の100mm板厚材の350°CまでのS値はクリープ強度には支配されないと判断されるが、SN490の40mm板厚材のS値は、高温域でクリープ支配となる可能性がある

3. 考察:SS, SM相当材

(その2) ASME 規格材料

火技解釈 別表第1

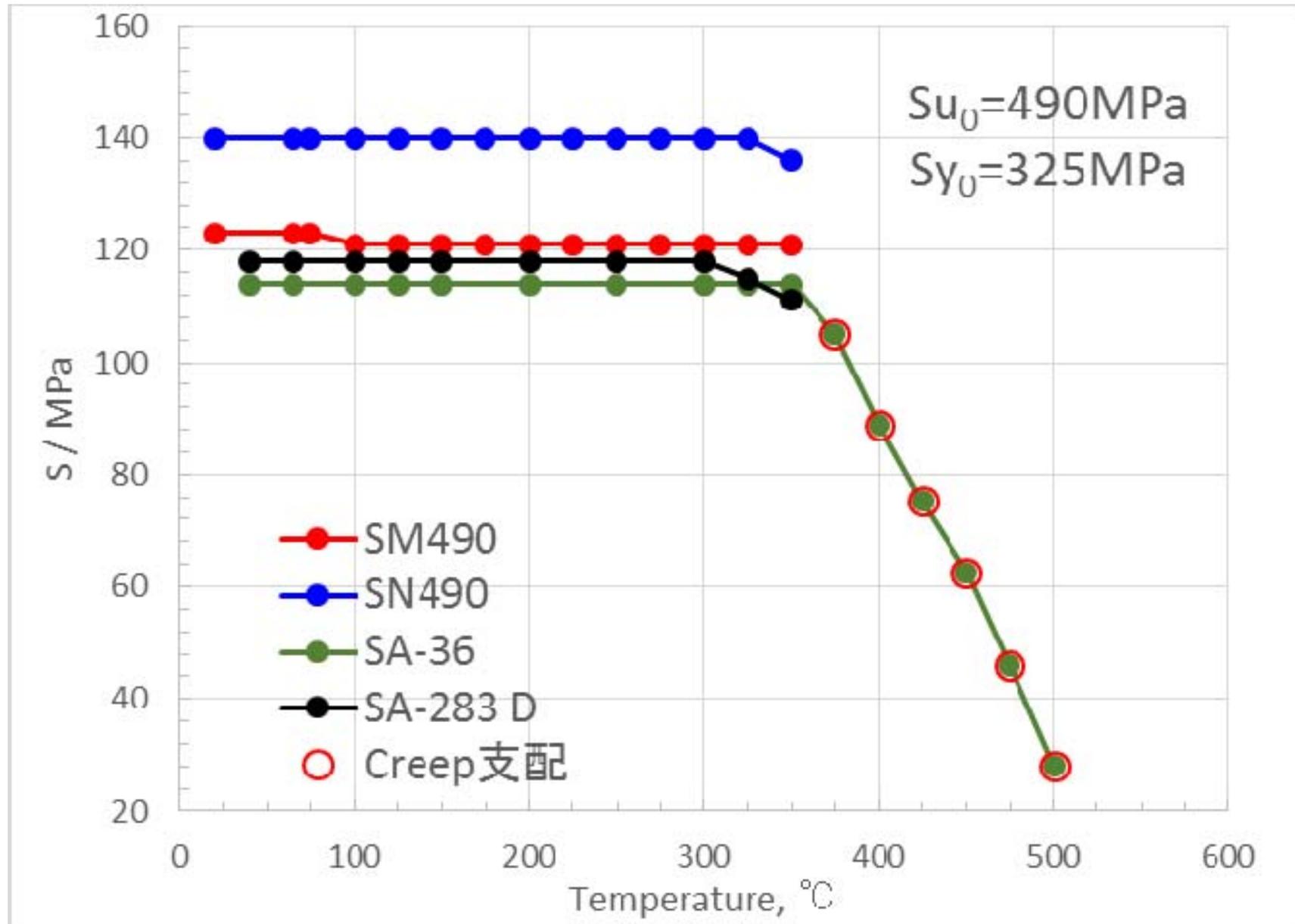
Sec II Part D

材料記号	ASME Sec II Part D(A97)		適用上 の留意 点	相当 JIS 材 (番号)	相当 JIS 材 (材料記号)
	ページ	行			
SA 36	6	26	—	JIS G 3106(2008)	SM400A
SA 53 S-B	10	26	—	JIS G 3454(2012)	STPG410
SA 53 TYPE E-A	2	24, 25	(7)	—	—
SA 53 TYPE E-B	10	24, 25	(7)	—	—
SA 53 TYPE S-A	2	28	(7)	—	—
SA 53 TYPE F	2	27	(7)	—	—
SA 105	18	6	—	JIS G 3201(1988)	SF490A

材料記号	ASME Sec II Part D(A97)		適用上 の留意 点	相当 JIS 材 (番号)	相当 JIS 材 (材料記号)
	ページ	行			
SA 250 T1	26	32, 33	—	JIS G 3462(2011)	STBA12
SA 250 T1a	26	40, 41	—	JIS G 3462(2011)	STBA13
SA 250 T1b	26	25, 26	—	—	—
SA 266 1	6	38	—	—	—
SA 266 2	18	11	—	—	—
SA 266 3	22	20	—	—	—
SA 268 TP410	50	3, 5	—	JIS G 3463(2011)	SUS410TB
SA 268 TP430	50	26, 27	—	JIS G 3463(2011)	SUS430TB
SA 283 B	6	2	—	JIS G 3101(2010)	SS330
SA 283 C	6	10	(8)	—	—
SA 283 D	10	22	—	JIS G 3101(2010)	SS400
SA 285 C	6	12	(8) (9)	—	—

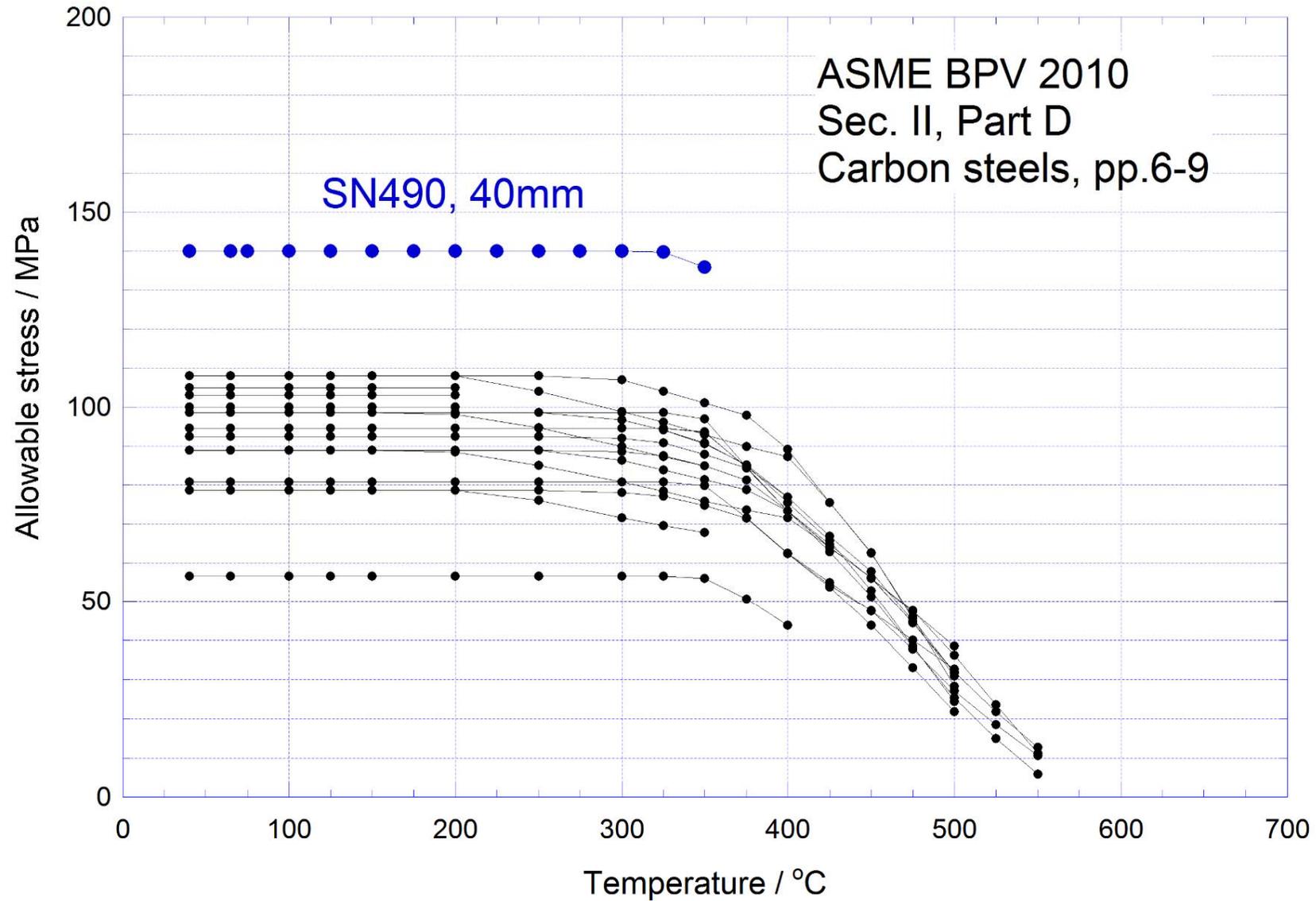
3. 考察: SN490, 40mm板厚材

325°C及び350°Cのs値は、
クリープ支配の可能性が高い



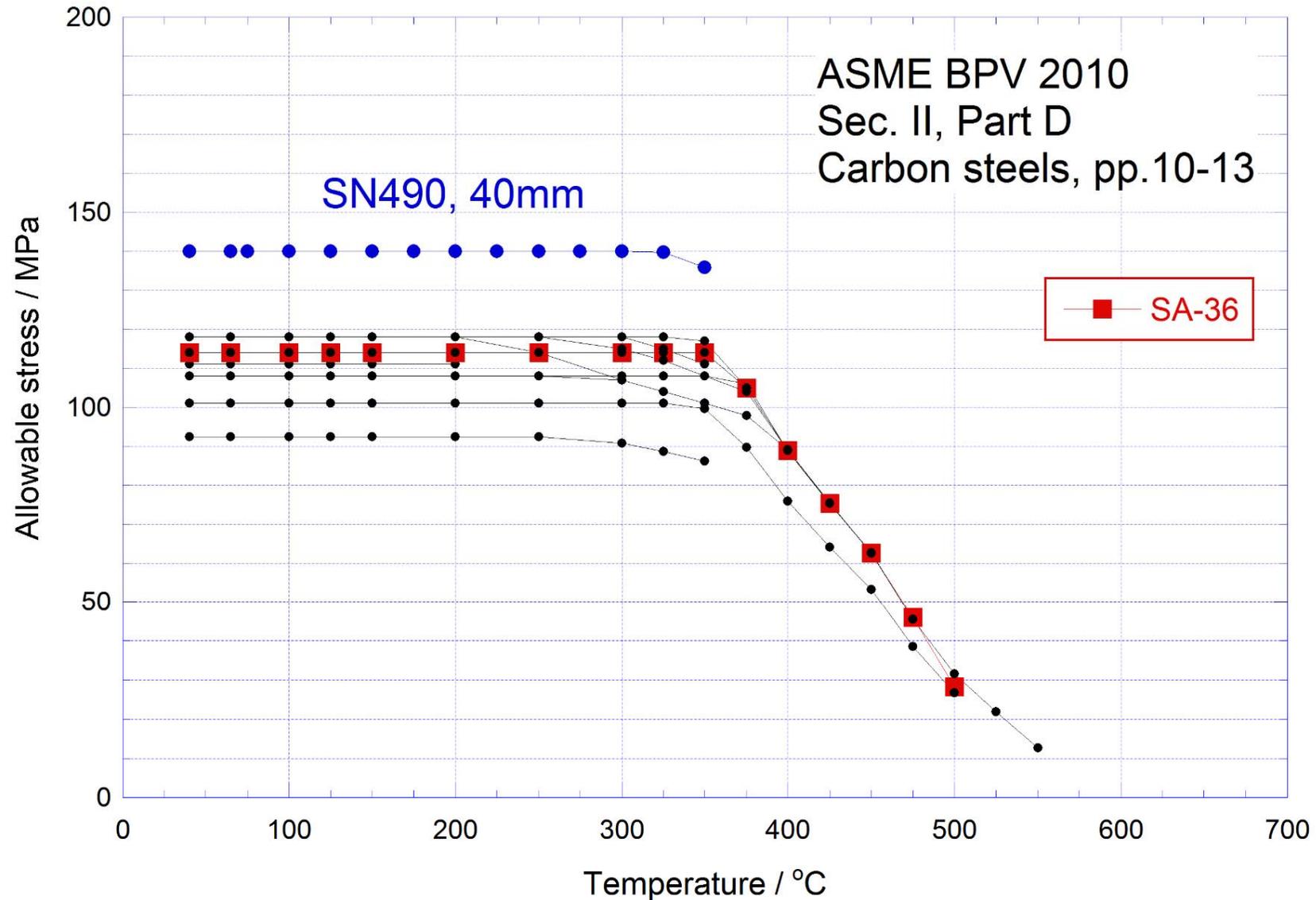
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 1/5

Min. Tensile Strength: 275-380 MPa



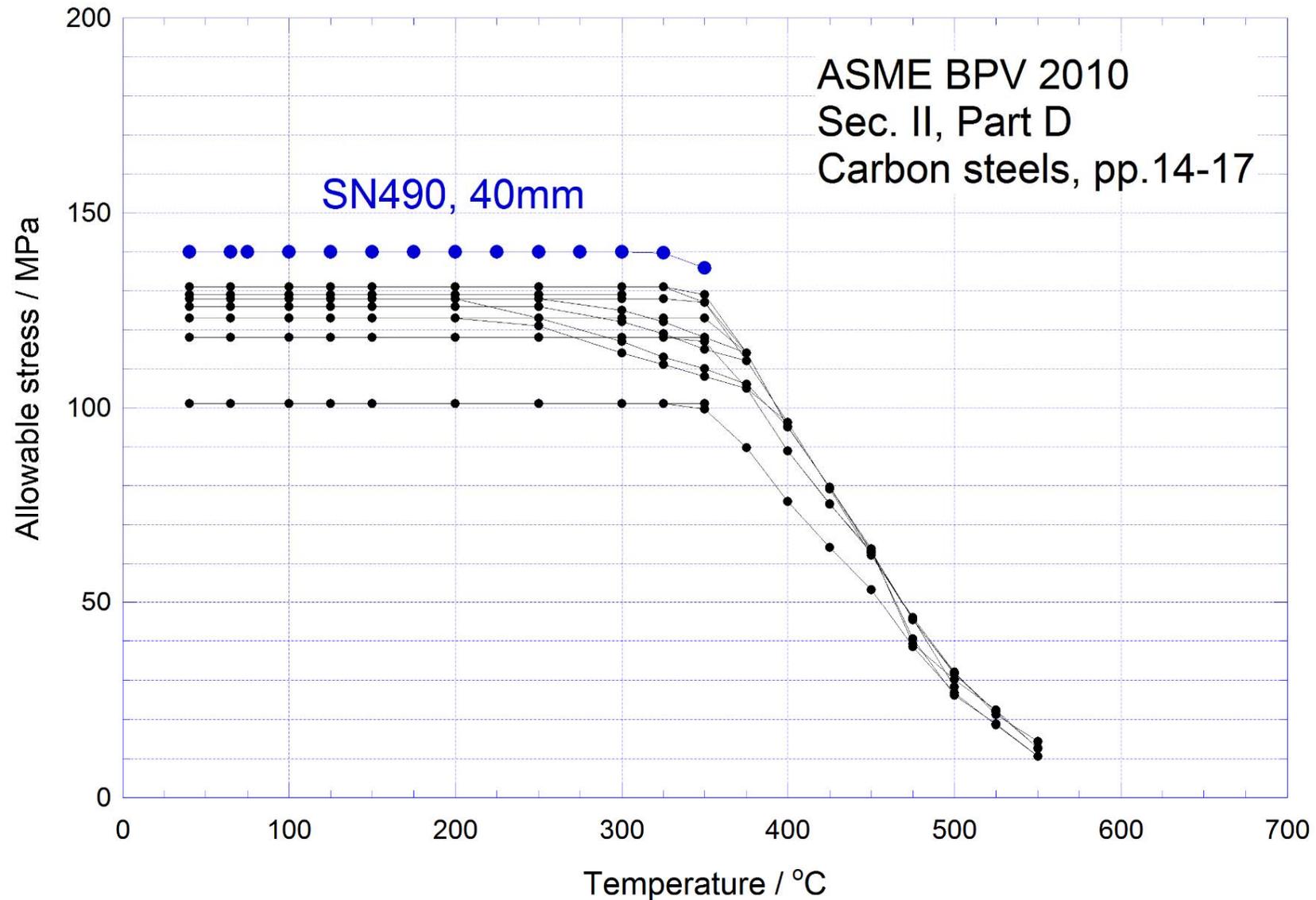
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 2/5

Min. Tensile Strength: 380-415 MPa



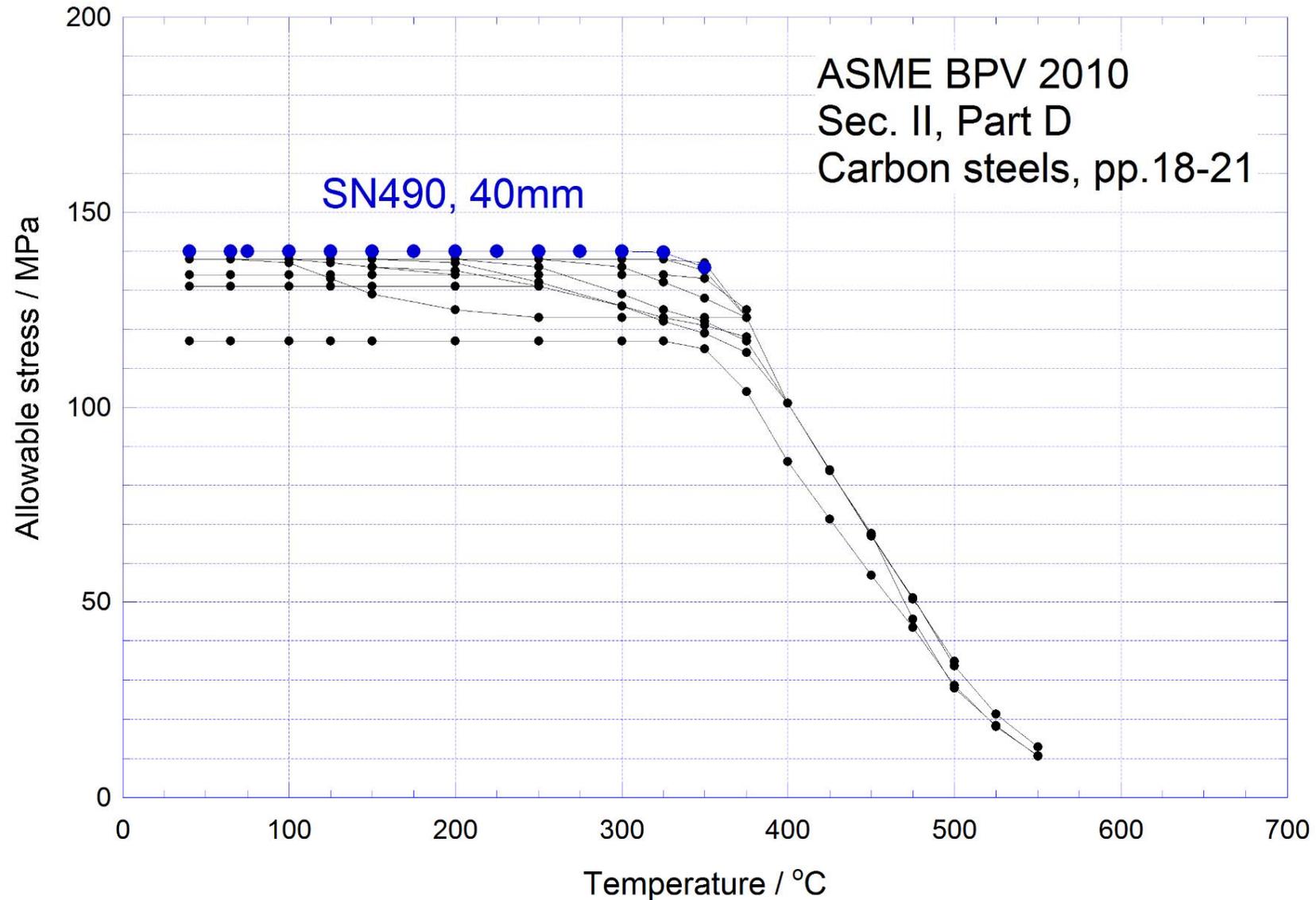
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 3/5

Min. Tensile Strength: 415-460 MPa



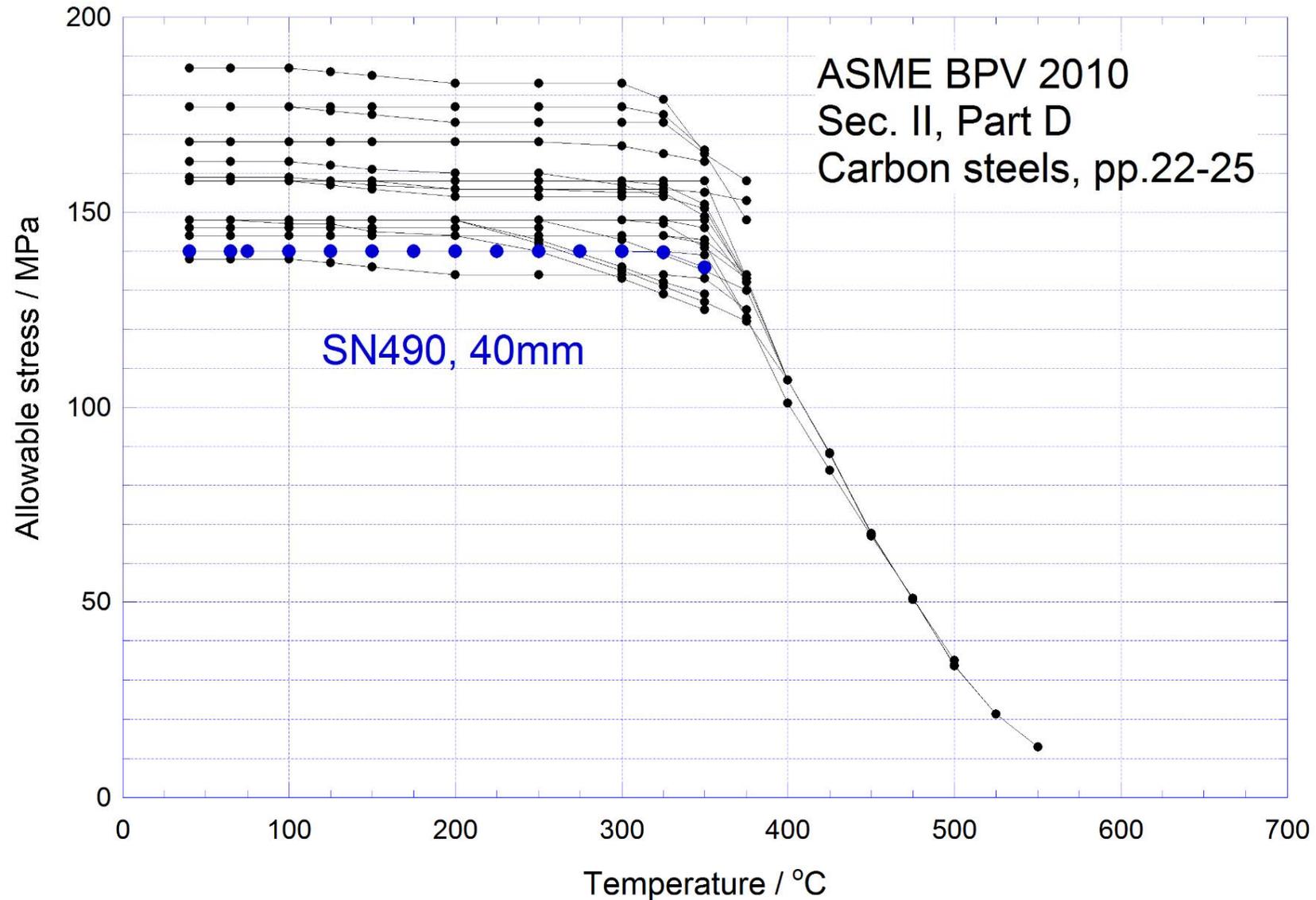
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 4/5

Min. Tensile Strength: 460-485 MPa



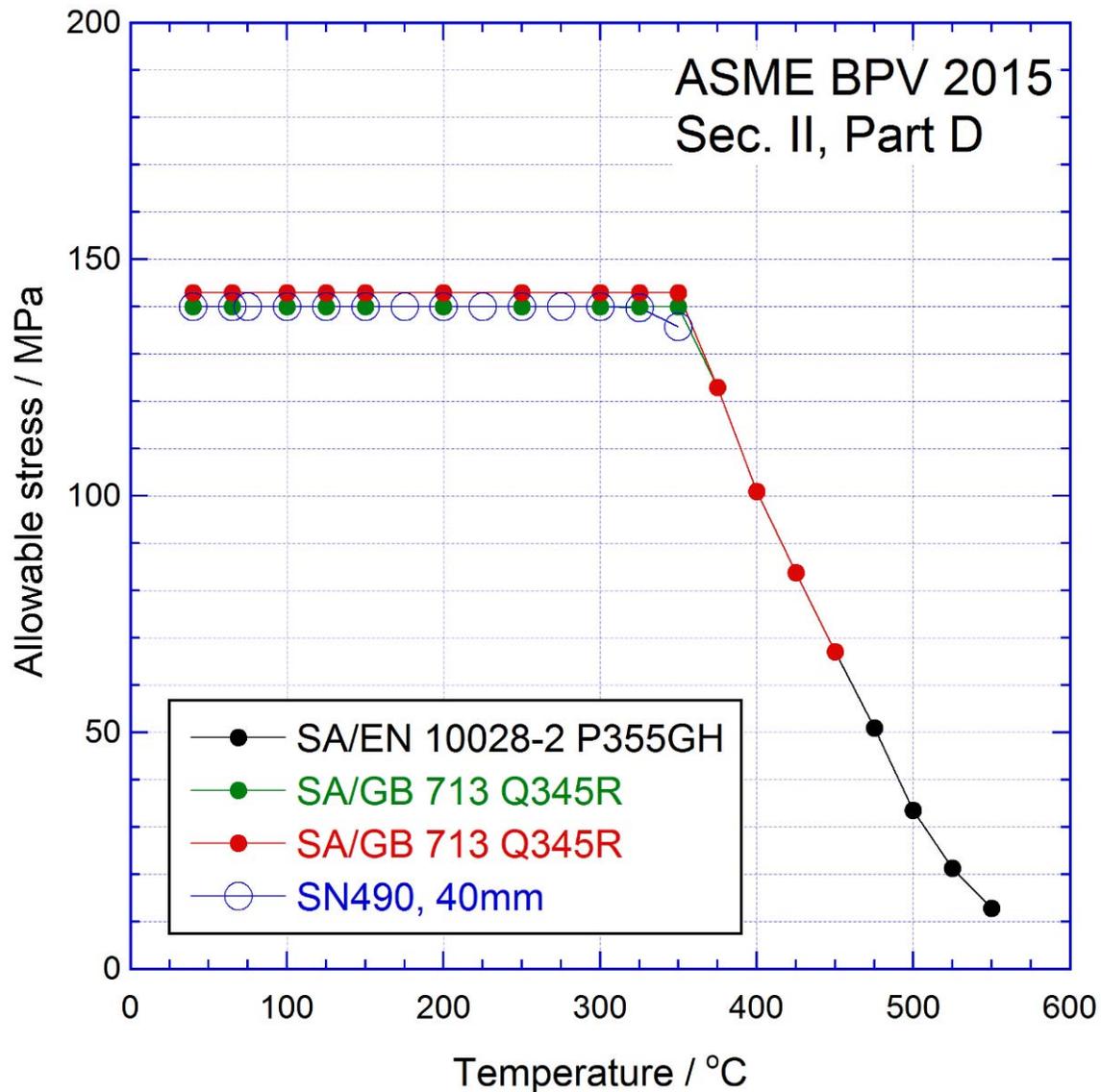
3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2010E - 5/5

Min. Tensile Strength: 485-655 MPa



3. 参考：炭素鋼の許容応力，ASME 2015E

比較材の375°C以上のS値はクリープ支配



Spec.	SA/EN 10028-2	SA/GB 713	SA/GB 713	SN490
Grade	P355GH	Q345R	Q345R	40mm
Su ₀	490MPa	490MPa	500MPa	490MPa
Sy ₀	315MPa	315MPa	325MPa	325MPa
Temp.	Allowable stress / MPa			
40	140	140	143	140
65	140	140	143	140
75				140
100	140	140	143	140
125	140	140	143	140
150	140	140	143	140
175				140
200	140	140	143	140
225				140
250	140	140	143	140
275				140
300	140	140	143	140
325	140	140	143	140
350	140	140	143	136
375	123	123	123	
400	101	101	101	
425	83.8	83.8	83.8	
450	67.1	67.1	67.1	
475	51.0			
500	33.6			
525	21.3			
550	12.9			

3. 参考：炭素鋼の化学成分(%)

鋼種	厚さ, t (mm)	C	Si	Mn	P	S	Al
SN490A* ¹	6 ≤ t ≤ 100	≤0.24	-	-	≤0.050	≤0.050	-
SN400B* ¹	6 ≤ t ≤ 50	≤0.20	≤0.35	0.60-1.50	≤0.030	≤0.015	-
	50 < t ≤ 100	≤0.22					
SN400C* ¹	16 ≤ t ≤ 50	≤0.20	≤0.35	0.60-1.50	≤0.020	≤0.008	-
	50 < t ≤ 100	≤0.22					
SN490B* ¹	6 ≤ t ≤ 50	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.030	≤0.015	-
	50 < t ≤ 100	≤0.20					
SN490C* ¹	16 ≤ t ≤ 50	≤0.18	≤0.55	≤1.65	≤0.020	≤0.008	-
	50 < t ≤ 100	≤0.20					
EN 10028-2 P355GH		0.100-0.220	≤0.60	1.10-1.70	≤0.025	≤0.010	≥0.020
GB713 Q345R		≤0.20	≤0.55	1.20-1.60	≤0.025	≤0.015	≥0.020* ²

鋼種	Cu	Cr	Ni	Mo	Nb	V	Ti	N	Ni+Cr+Cu+Mo
EN 10028-2 P355GH	≤0.30	≤0.30	≤0.30	≤0.08	≤0.040	≤0.020	≤0.030	≤0.012	≤0.70

*1: JIS G3136: 2012, 建築鋼材用圧延鋼材 (SN400A, SN400B, SN400C, SN490B, SN490C)
必要に応じて, この表以外の合金元素を添加しても良い。

*2: Alt, Where Nb, Ti and V are added to the steel the lower limit of Alt is not applicable.

3. まとめ – 1/2

□ S_y 解析条件

- 下降伏点を室温基準値とすると、試験結果(データ)が評価結果(ベストフィットトレンドカーブ)を下回る非保守的な結果となる場合があるが、上降伏点を室温基準値とすると、非保守的な結果は認められない
- 上降伏点を室温基準値としても、下降伏点を室温基準値とした場合に比べて0.2%耐力の室温基準値に対する比のばらつきの程度は、必ずしも増大するわけではなく、逆に縮小する場合もある
- 以上の結果から、室温の基準値には下降伏点ではなく、上降伏点を用いた方が、保守的なベストフィットトレンドカーブを合理的に評価することができる

□ トレンドカーブ

- JIS B8267の標準トレンドカーブを試験結果(データ)が下回る非保守的なケースが認められるが、データ解析で求めたベストフィットトレンドカーブではそのような非保守的なケースは認められず、保守的である
- B材とC材を単独で解析してもその違いは小さく、B材とC材を一括解析した結果と有意差はほとんど認められない
- 以上の結果から、B材とC材を一括解析して求めたベストフィットトレンドカーブを採用することが妥当と考えられる

3. まとめ - 2/2

□ 回帰次数

- 回帰次数が大きいほど解析精度は向上し、2次より3次、3次より4次の方が解析精度は向上するが、4次と5次の解析精度の違いはわずかである
- 解析で求めたベストフィットのトレンドカーブの回帰次数による違いは小さい
- 以上の結果から、4次回帰の解析結果を選択するのが妥当と考えられる

□ S値

- 上記の検討結果に基づいて、室温基準値に上降伏点を用いて、温度の4次回帰で求めたベストフィットトレンドカーブから、室温から350°CまでのS値(暫定案)を算出し、SS材及びSM材のS値と比較した
- 350°CにおけるSN400の40mm及び100mm板厚材とSN490の100mm板厚材のS値は、SS材及びSM材と同等あるいはそれ以下であり、クリープ強度には支配されないと判断される
- SN490の40mm板厚材のS値は、350°CでもSS材及びSM材よりも大きな値であり、高温域でクリープ支配となる可能性があるが、室温の規定最小値が同程度であるASME材のS値と同等であり、これらASME材の350°CのS値は引張支配であることから、本解析で得られたS値を採用しても問題ないと推察される

一般財団法人日本機械学会
第8回新材料規格化分科会

御打合わせ資料

- 建築構造用圧延鋼 (SN) 材の設計許容値 [設計降伏点 (S_y), 設計引張強さ (S_u)] の試算結果 -

試算条件

室温 (RT) における設計許容値

鋼種	板厚 [mm]	降伏点 [MPa]	引張強さ [MPa]	備考
SN400B	40	235	400	
	100	215	400	
SN400C	40	235	400	
	100	215	400	
SN490B	40	325	490	p. 11⇒12: 降伏点を308 MPaに修正
	100	295	490	
SN490C	40	325	490	p. 16⇒17: 降伏点を315 MPaに修正
	100	295	490	

規準化データの多項式近似における決定係数 (R^2)

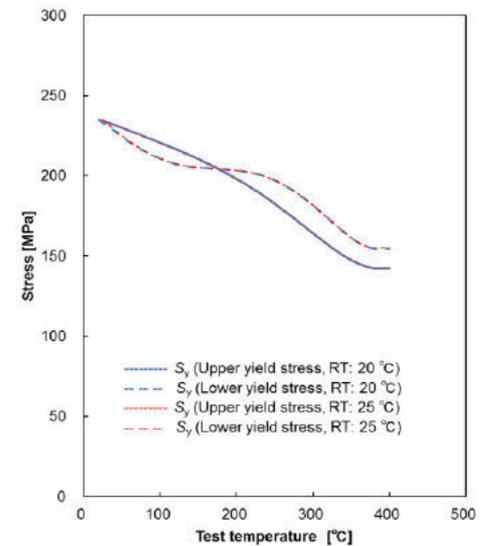
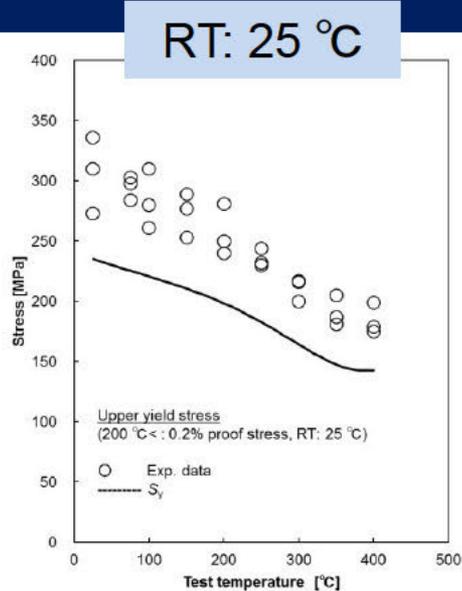
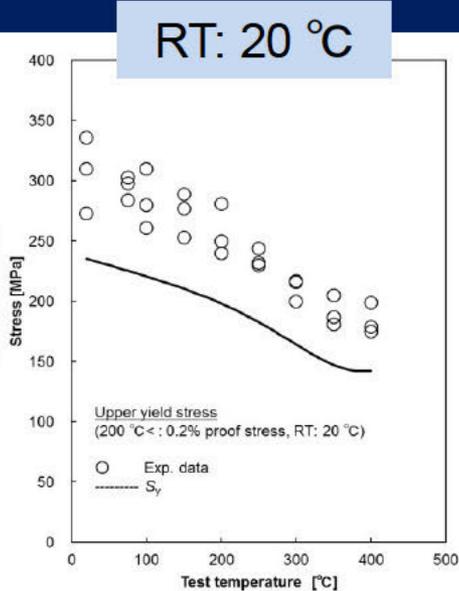
表中の太斜体の R^2 に該当する次数を採用

鋼種	板厚 [mm]	データ種	室温 [°C]	多項式近似次数			
				二次	三次	四次	五次
SN400B	40	上降伏点	20	0.7352	0.7400	0.7432	0.7434
			25	0.7357	0.7398	0.7433	0.7435
		下降伏点	20	0.8685	0.8891	0.9134	0.9193
			25	0.8650	0.8872	0.9143	0.9193
	100	上降伏点	20	0.7780	0.7816	0.7965	0.7996
			25	0.7779	0.7808	0.7965	0.8003
		下降伏点	20	0.9096	0.9106	0.9255	0.9256
			25	0.9074	0.9090	0.9256	0.9258
SN400C	40	上降伏点	20	0.8718	0.9133	0.9263	0.9335
			25	0.8724	0.9142	0.9262	0.9338
		下降伏点	20	0.7779	0.7833	0.8061	0.8066
			25	0.7751	0.7814	0.8064	0.8067
100	上降伏点	20	0.8775	0.8923	0.8927	0.8995	
		25	0.8795	0.8919	0.8924	0.8995	
	下降伏点	20	0.9665	0.9744	0.9745	0.9757	
		25	0.9681	0.9741	0.9743	0.9757	
100	上降伏点	20	0.1869	0.7297	0.7361	0.7370	
		25	0.1507	0.7344	0.7369	0.7372	

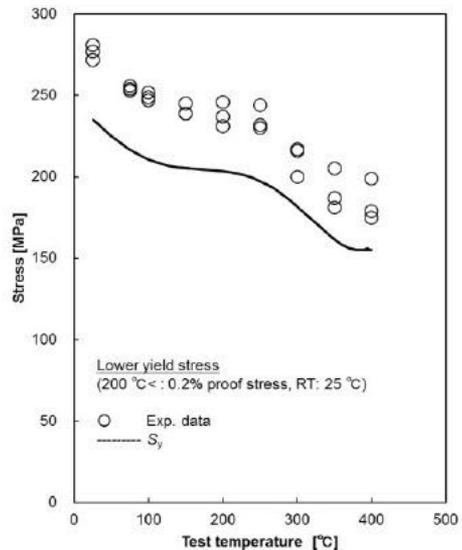
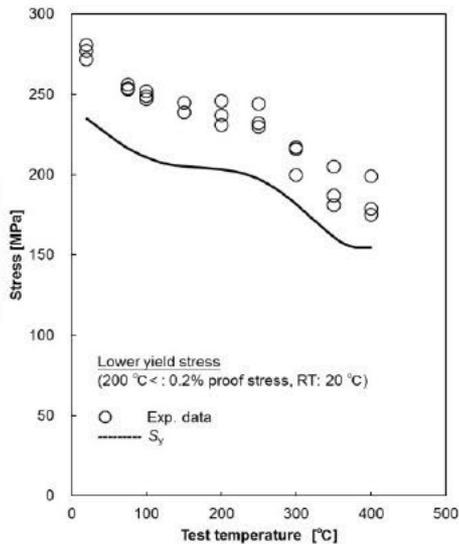
鋼種	板厚 [mm]	データ種	室温 [°C]	多項式近似次数			
				二次	三次	四次	五次
SN490B	40	上降伏点	20	0.9769	0.9844	0.9868	0.9882
			25	0.9779	0.9840	0.9867	0.9882
		下降伏点	20	0.8994	0.8994	0.9061	0.9062
			25	0.8988	0.8988	0.9062	0.9062
	100	上降伏点	20	-0.1009	0.4766	0.4787	0.4917
			25	-0.1075	0.4766	0.4812	0.4919
		下降伏点	20	0.9477	0.9566	0.9567	0.9590
			25	0.9493	0.9564	0.9565	0.9591
SN490C	40	上降伏点	20	0.9605	0.9615	0.9631	0.9632
			25	0.9615	0.9619	0.9630	0.9632
		下降伏点	20	0.1486	0.7937	0.8674	0.8740
			25	0.1175	0.8103	0.8683	0.8737
SN490C	40	上降伏点	20	0.8950	0.9135	0.9135	0.9157
			25	0.8973	0.9134	0.9135	0.9159
		下降伏点	20	0.9161	0.9190	0.9191	0.9194
			25	0.9171	0.9189	0.9189	0.9193
	100	上降伏点	20	-0.0525	0.7427	0.7593	0.7850
			25	-0.0790	0.7527	0.7624	0.7849
		下降伏点	20	0.9167	0.9861	0.9885	0.9953
			25	0.9198	0.9860	0.9889	0.9953
100	上降伏点	20	0.9926	0.9926	0.9954	0.9955	
		25	0.9929	0.9933	0.9953	0.9954	
	下降伏点	20	0.0919	0.8628	0.9915	0.9952	
		25	0.0584	0.8853	0.9920	0.9949	

試算結果 / SN400B (t40 mm) の S_y

上降伏点
ベース

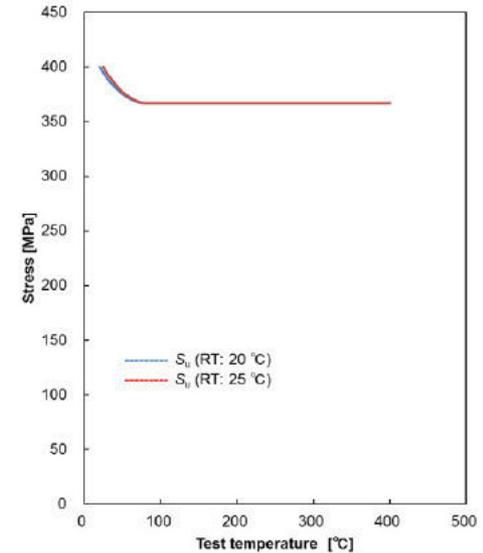
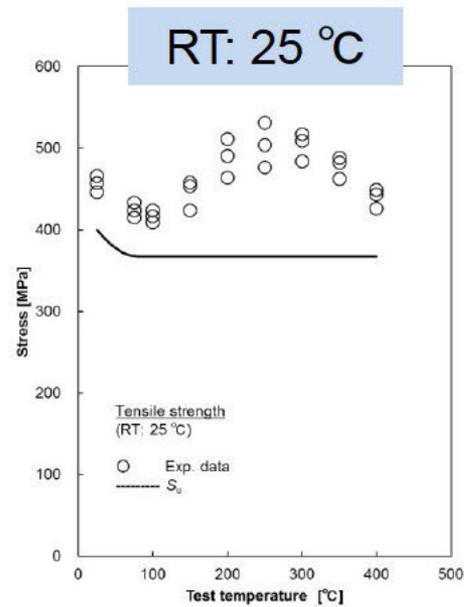
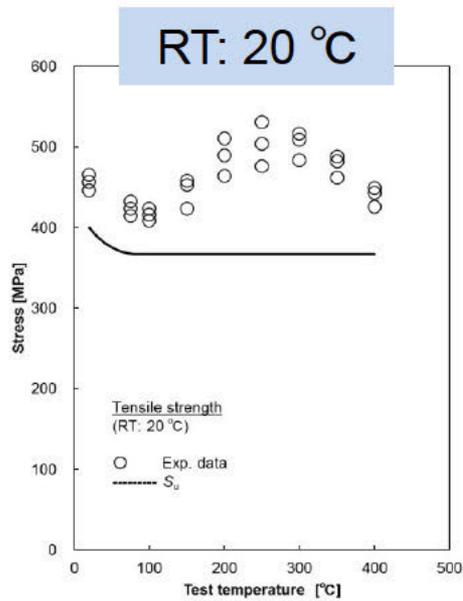


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

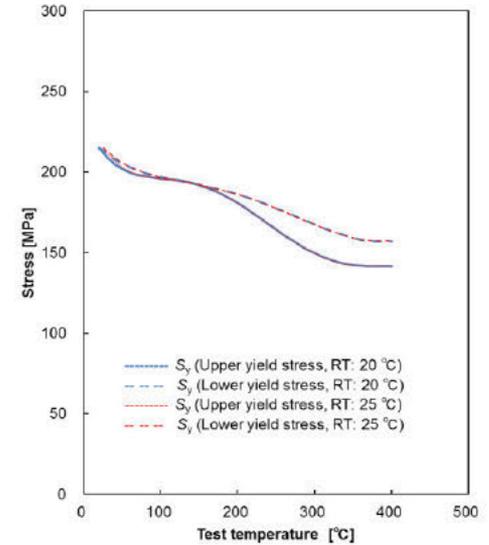
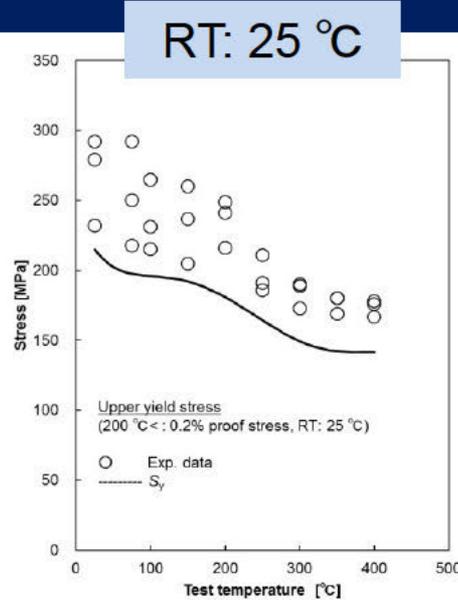
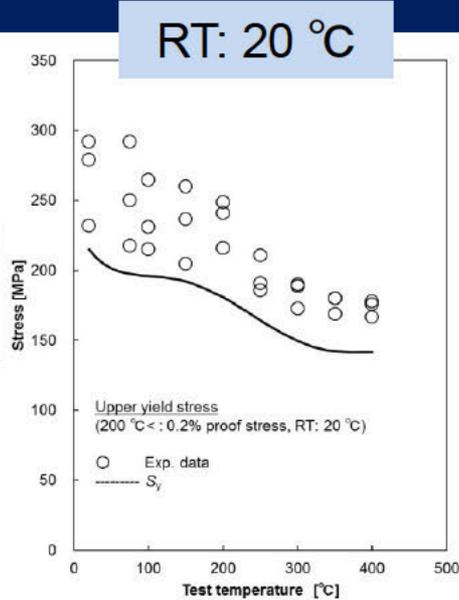
試算結果 / SN400B (t40 mm) の S_u



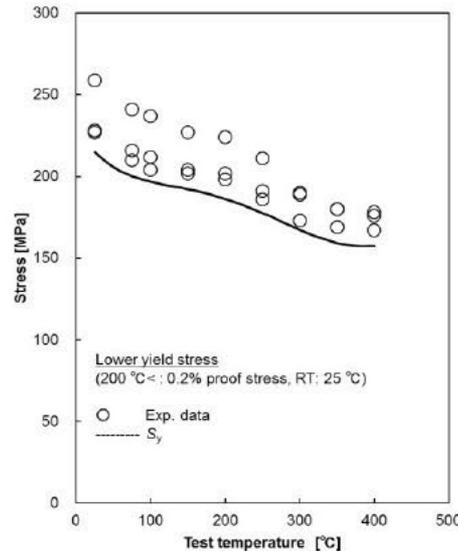
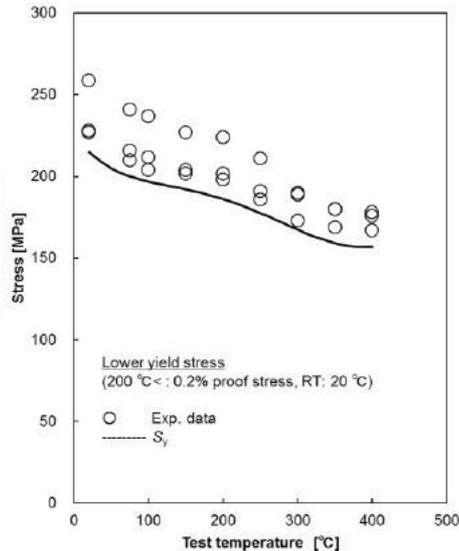
■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / SN400B (t100 mm) の S_y

上降伏点
ベース

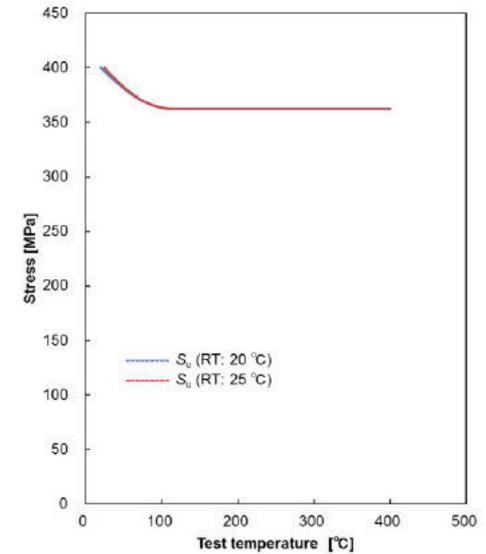
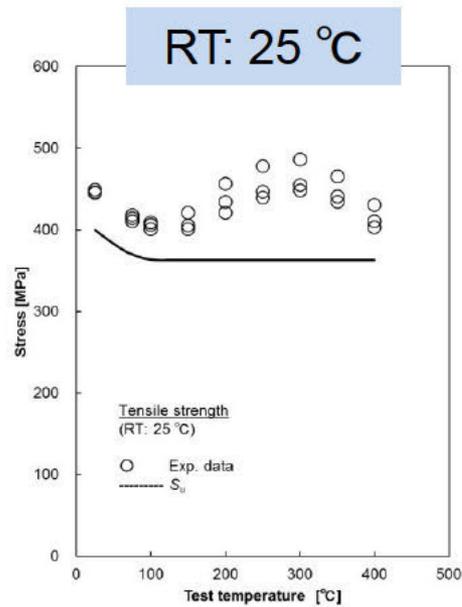
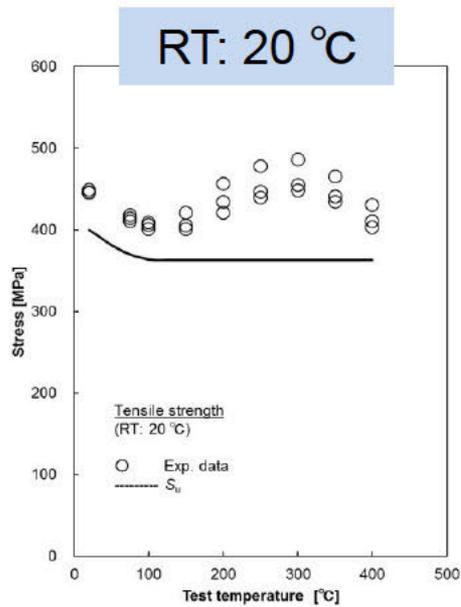


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

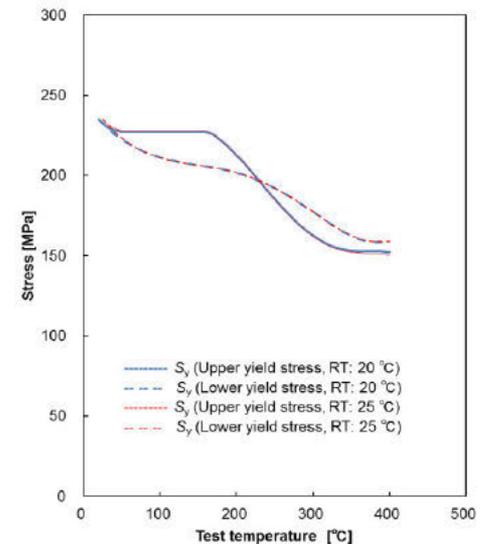
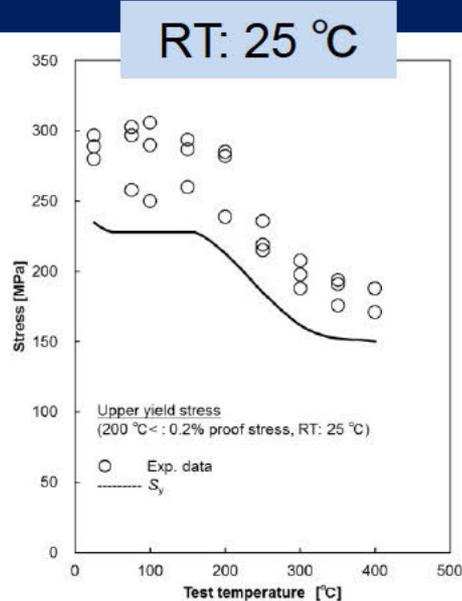
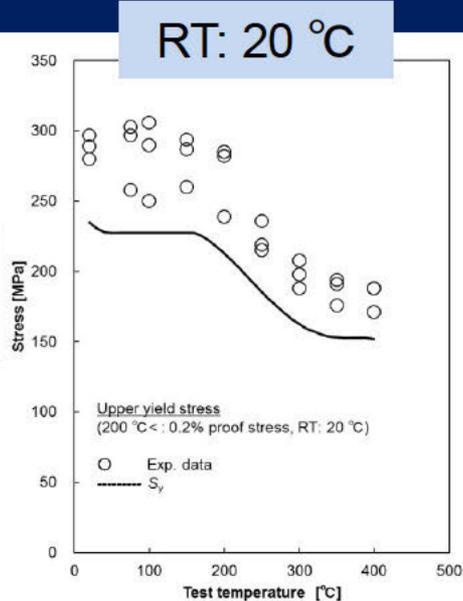
試算結果 / SN400B (t100 mm) の S_u



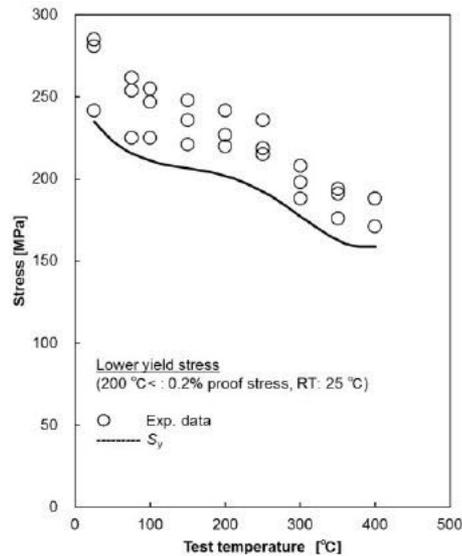
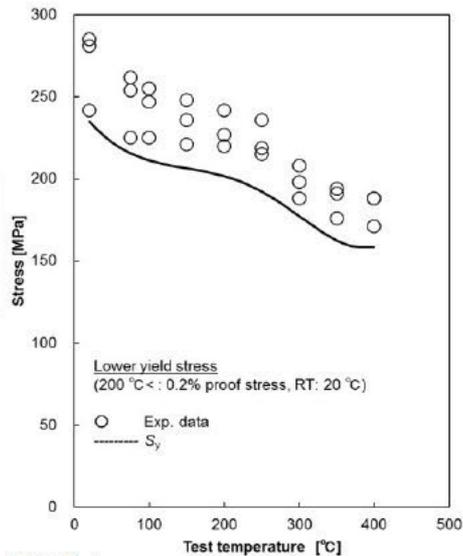
■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / SN400C (t40 mm) の S_y

上降伏点
ベース

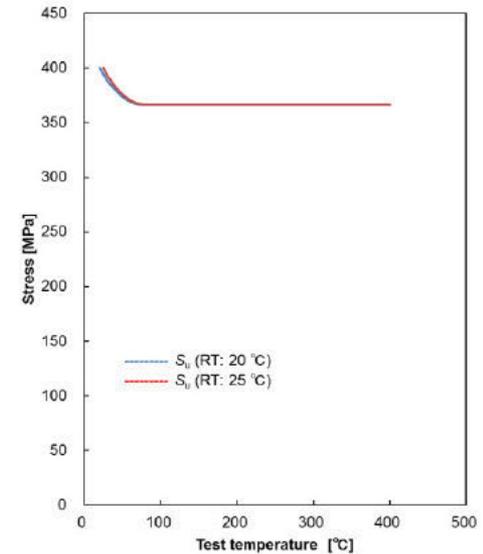
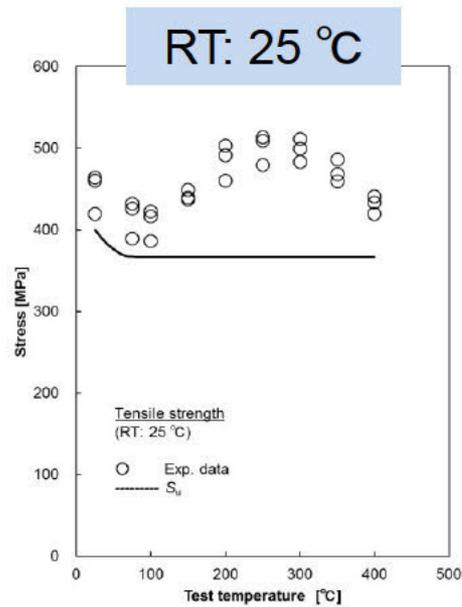
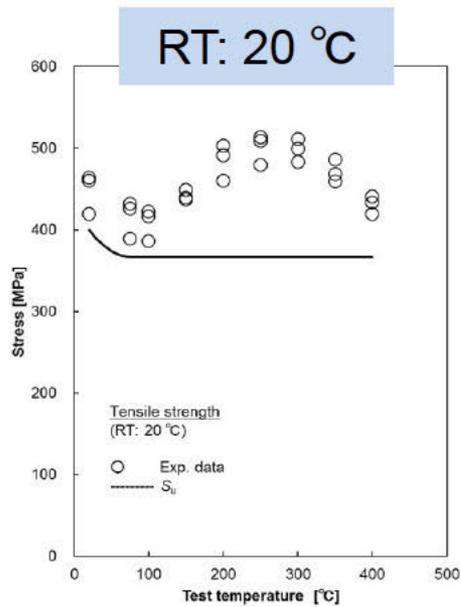


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

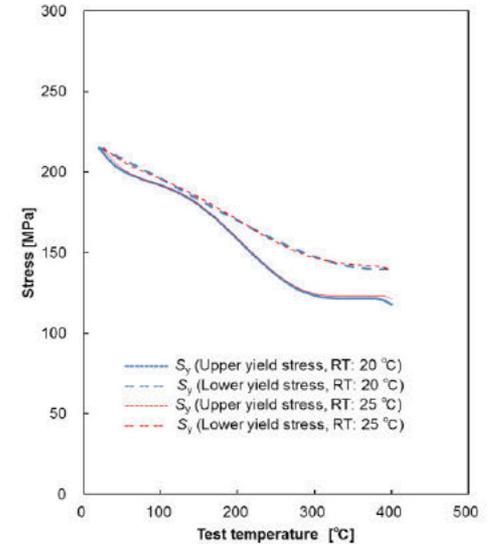
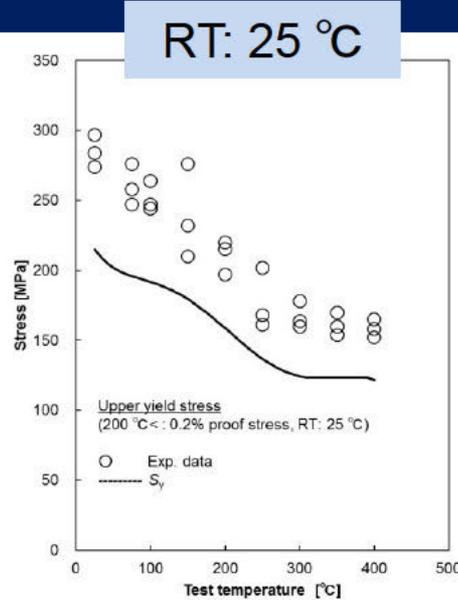
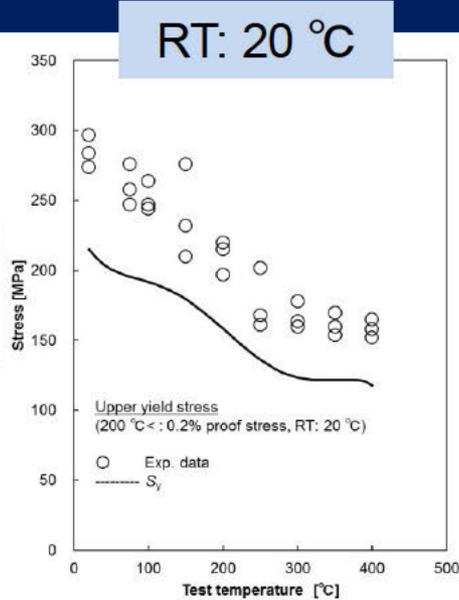
試算結果 / SN400C (t40 mm) の S_u



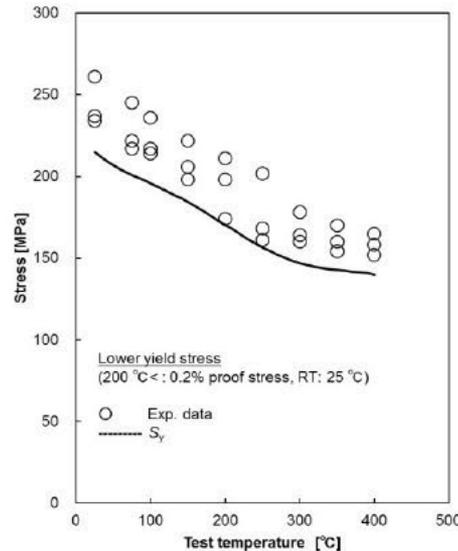
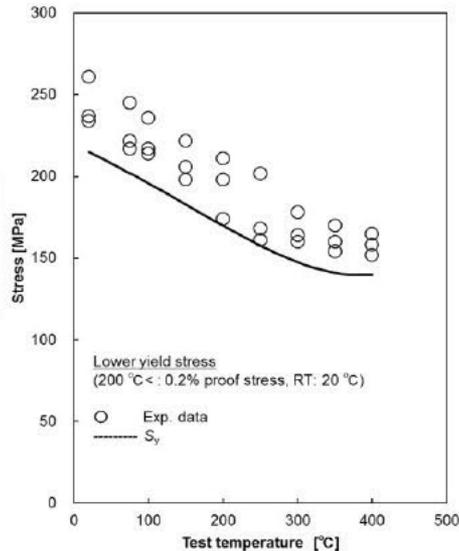
■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / SN400C (t100 mm) の S_y

上降伏点
ベース

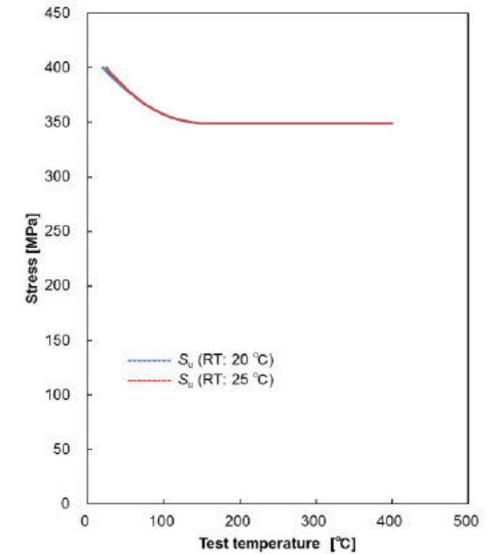
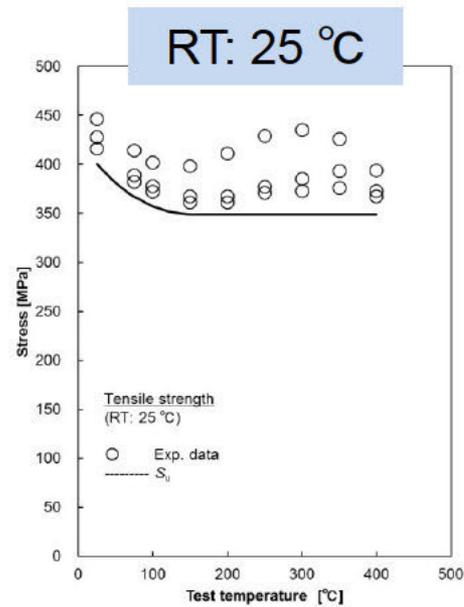
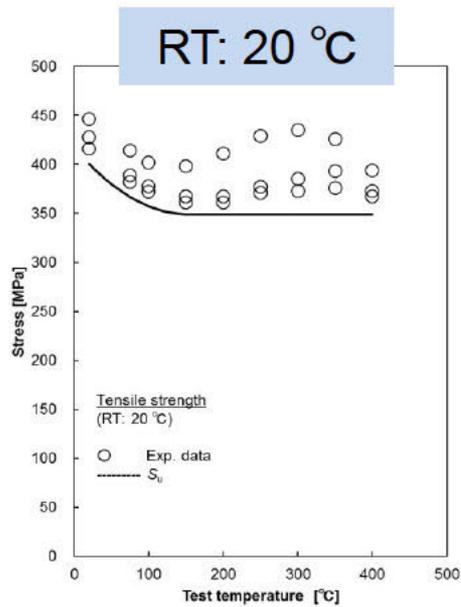


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

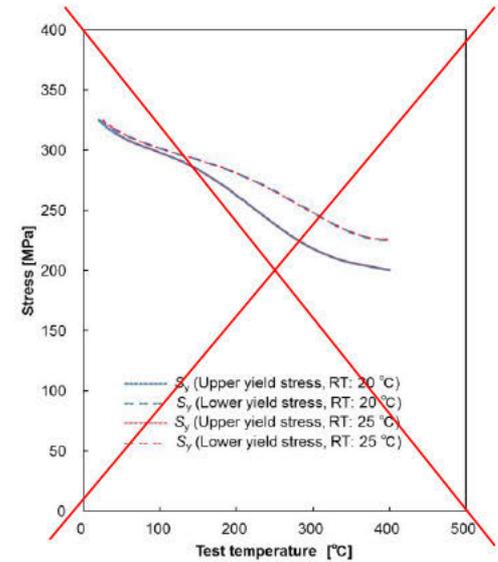
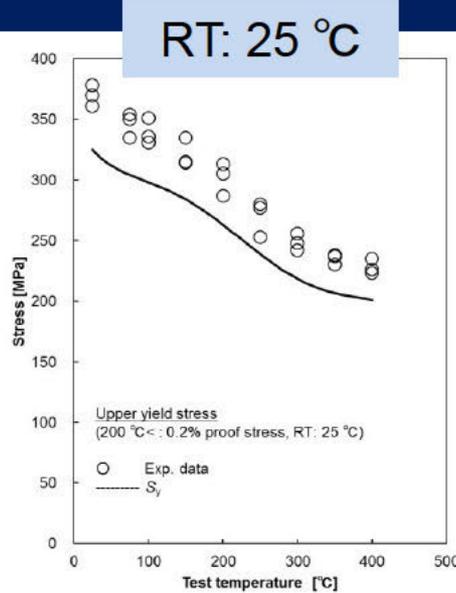
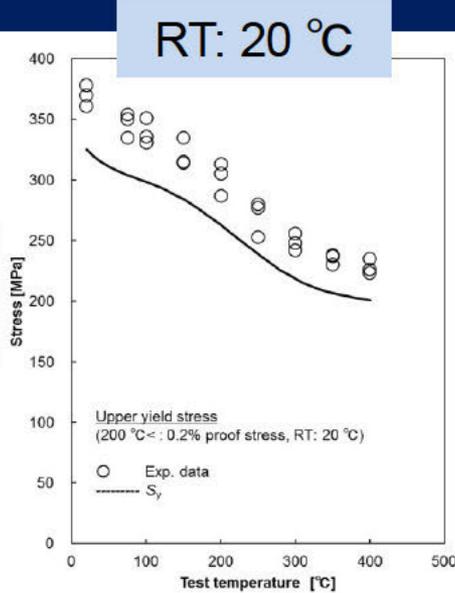
試算結果 / SN400C (t100 mm) の S_u



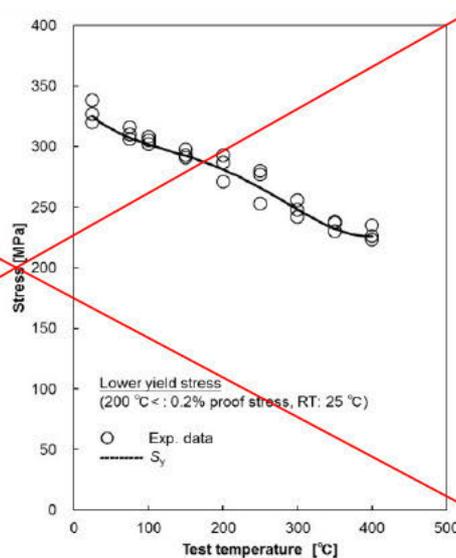
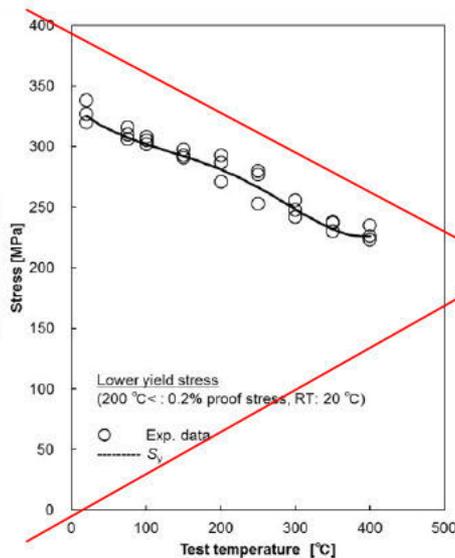
■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / SN490B (t40 mm) の S_y

上降伏点
ベース



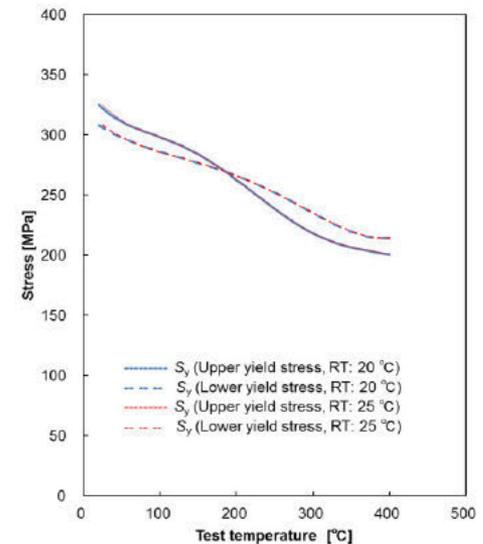
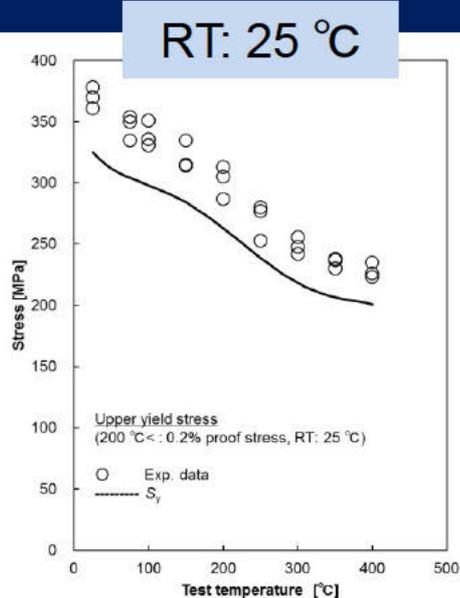
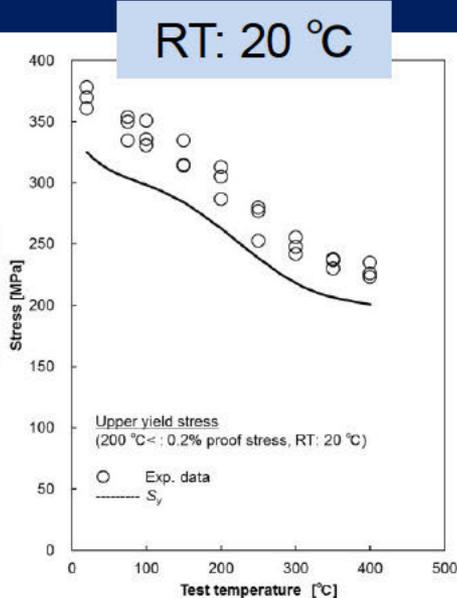
下降伏点
ベース



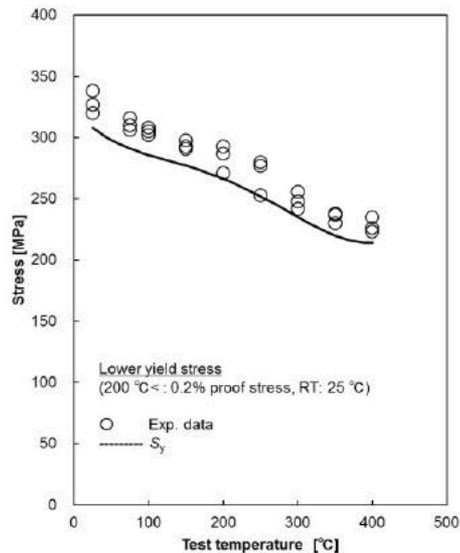
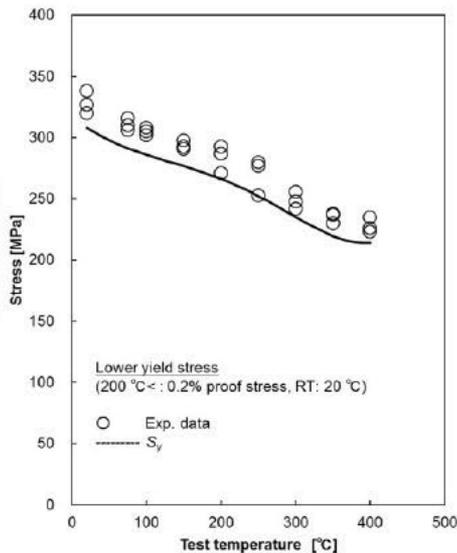
■ 「RTの値を含み」実データの一部が下降伏点ベースの S_y を下回っているため、 S_y のカーブを下方修正 (RTの設計降伏点を低減) することとした。

試算結果 / SN490B (t40 mm) の S_y

上降伏点
ベース

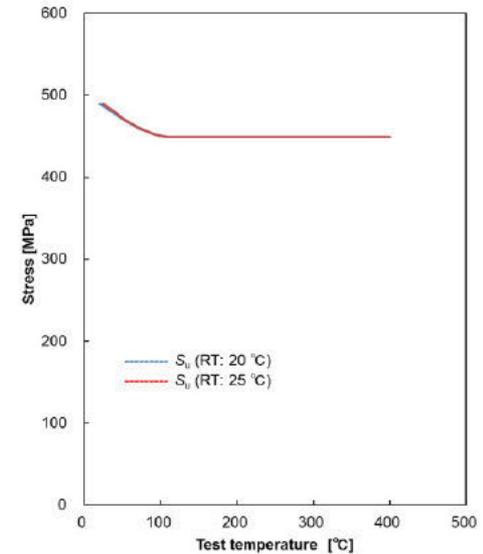
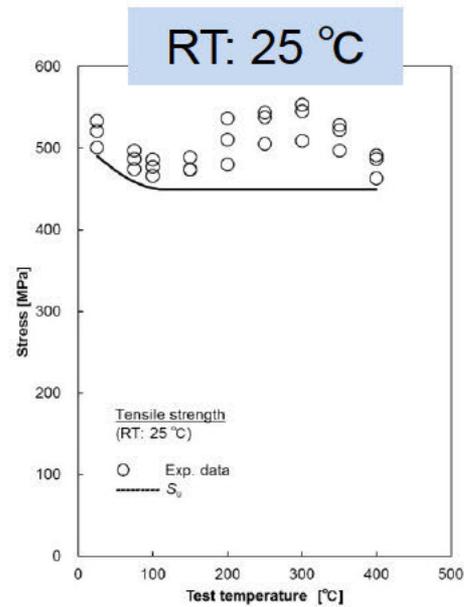
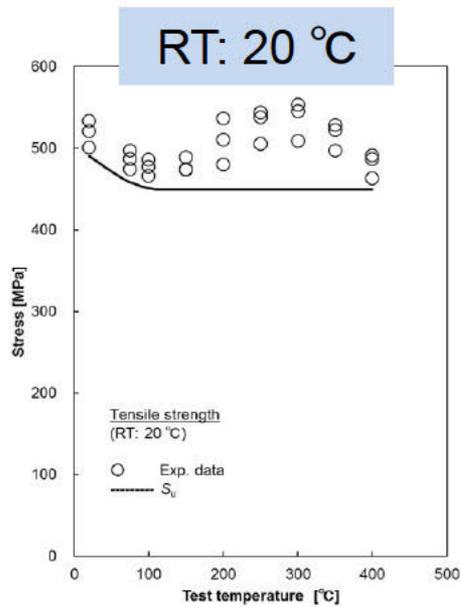


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

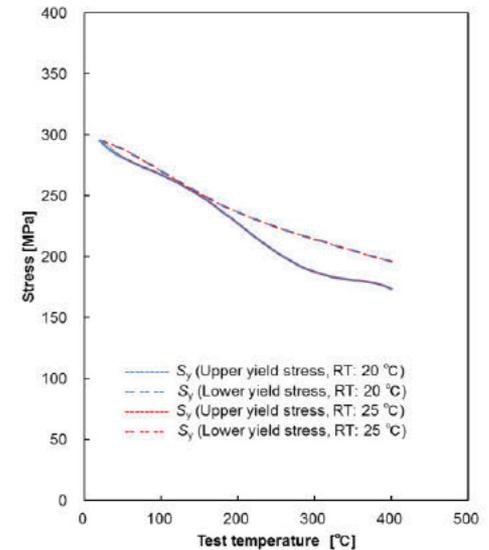
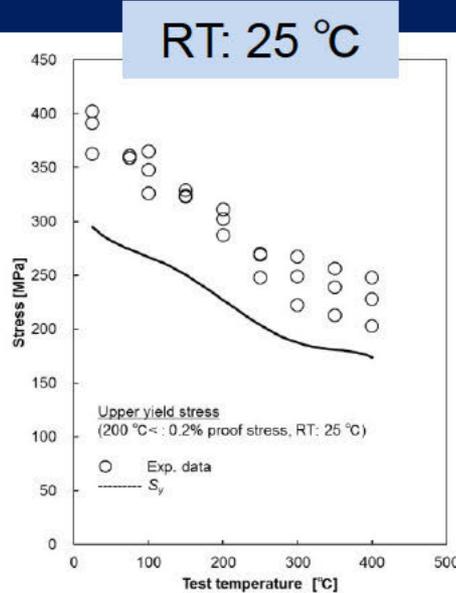
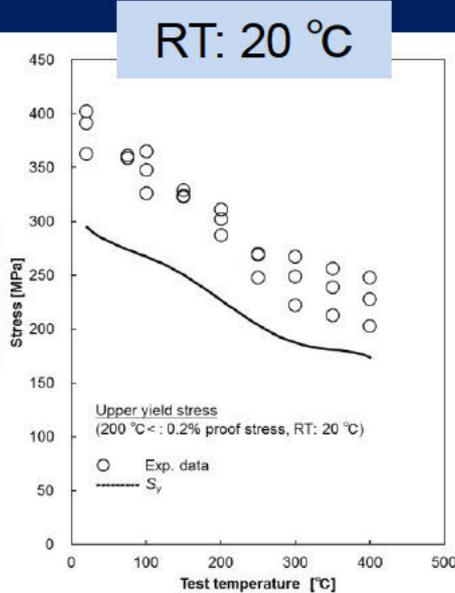
試算結果 / SN490B (t40 mm) の S_u



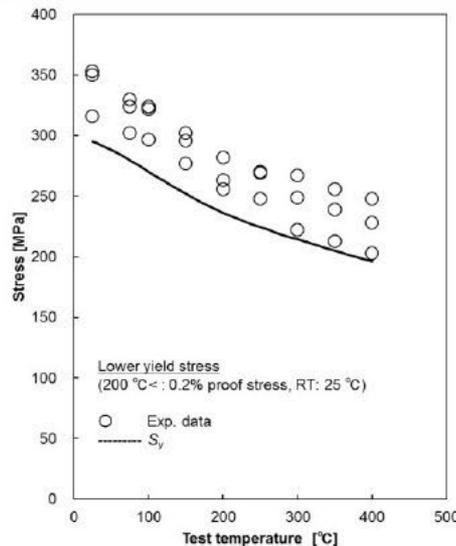
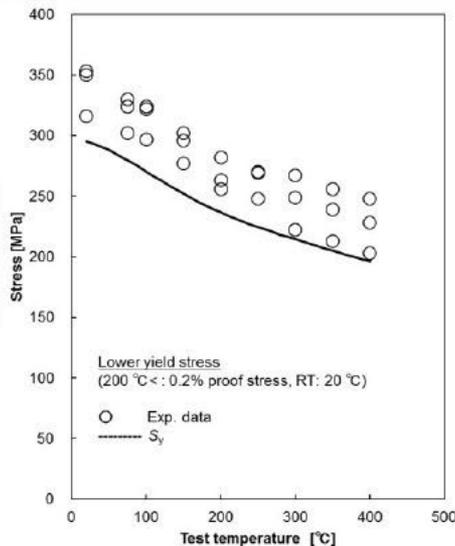
■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / SN490B (t100 mm) の S_y

上降伏点
ベース

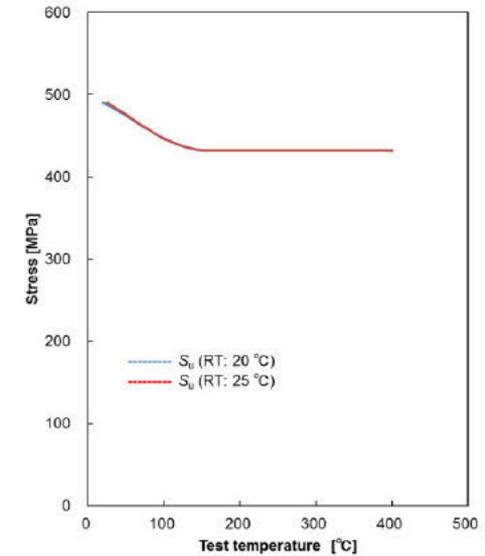
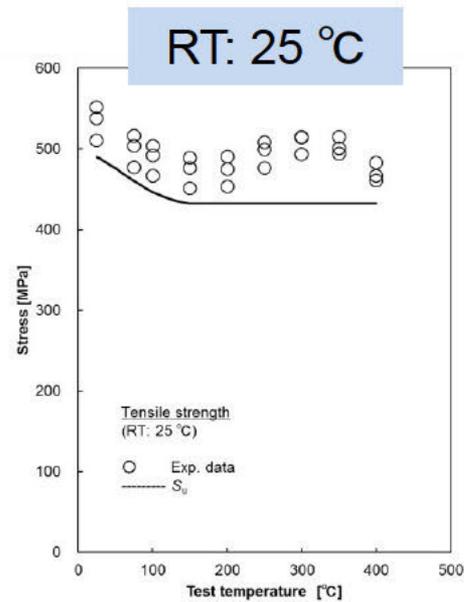
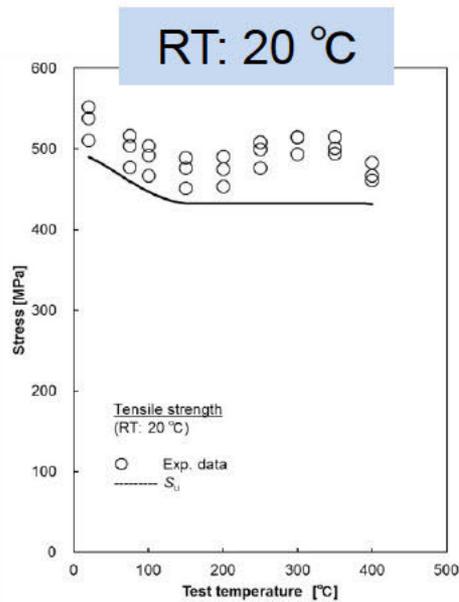


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

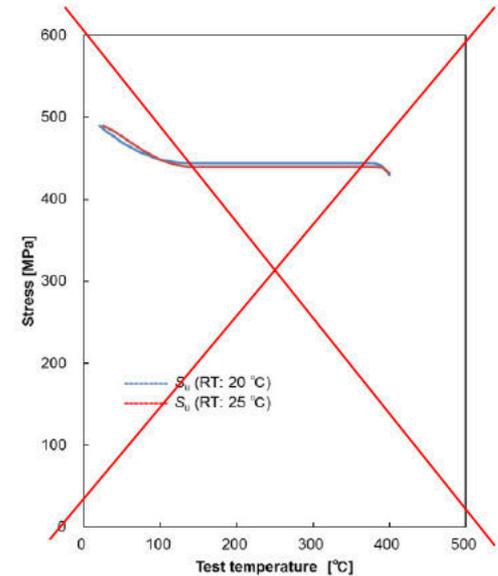
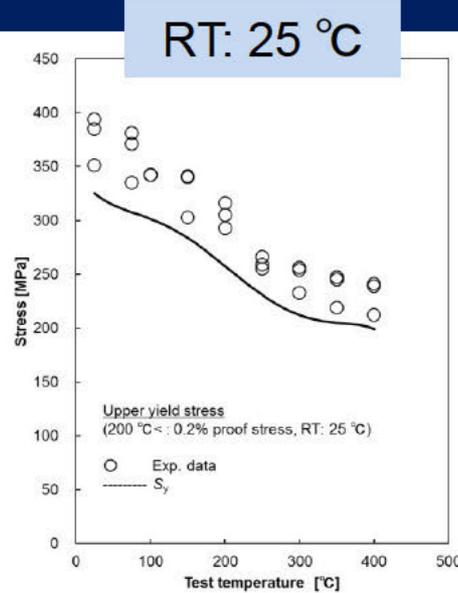
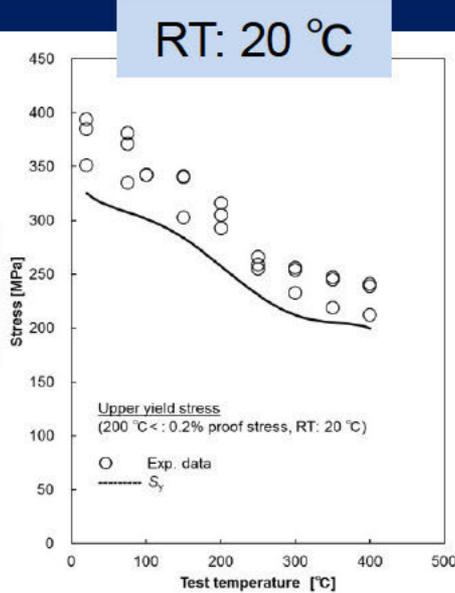
試算結果 / SN490B (t100 mm) の S_u



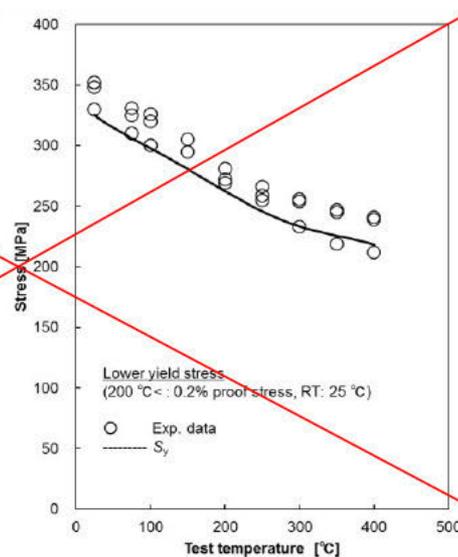
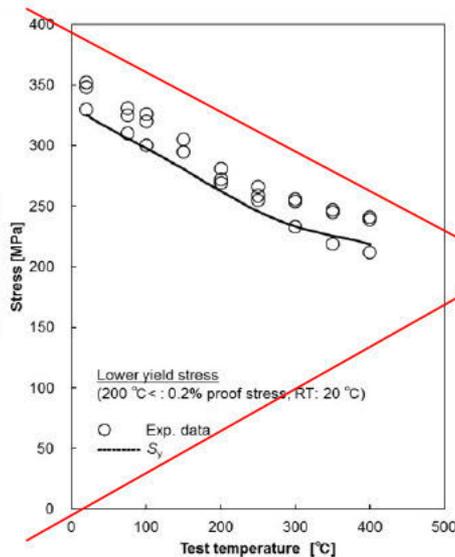
■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / SN490C (t40 mm) の S_y

上降伏点
ベース



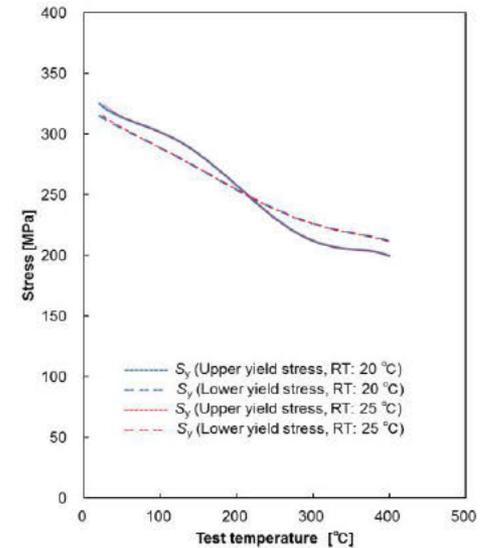
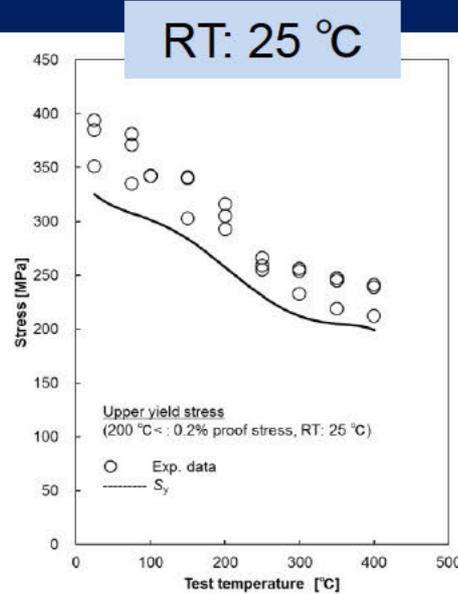
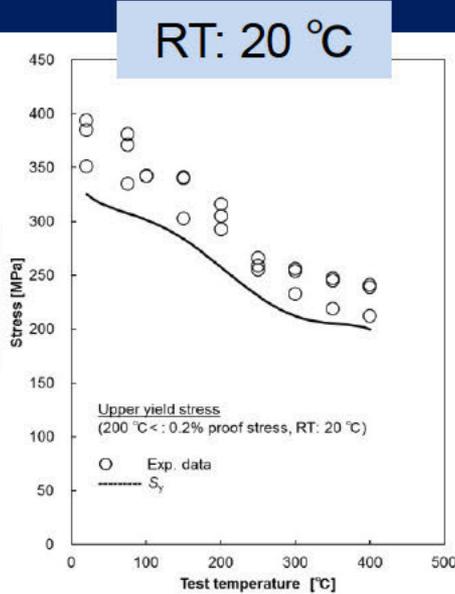
下降伏点
ベース



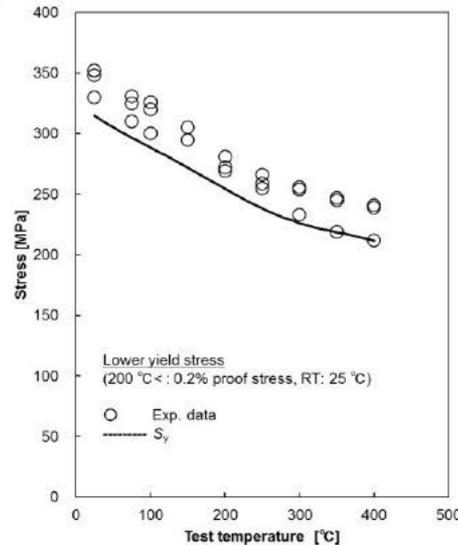
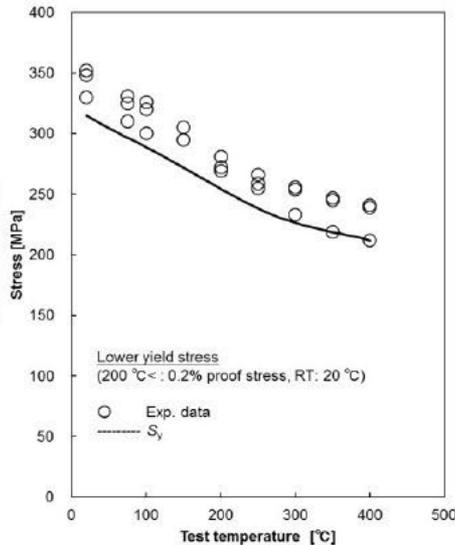
- 「RTの値は含まぬが」実データの一部 (右端の二点) が下降伏点ベースの S_y を下回っている. S_y のカーブを下方修正することとした.
- 【 S_y 下方修正案1】RTの設計降伏点を低減
- 【 S_y 下方修正案2】実データ右端二点を通るよう折れ線近似

試算結果 / SN490C (t40 mm) の S_y 【案1】

上降伏点
ベース



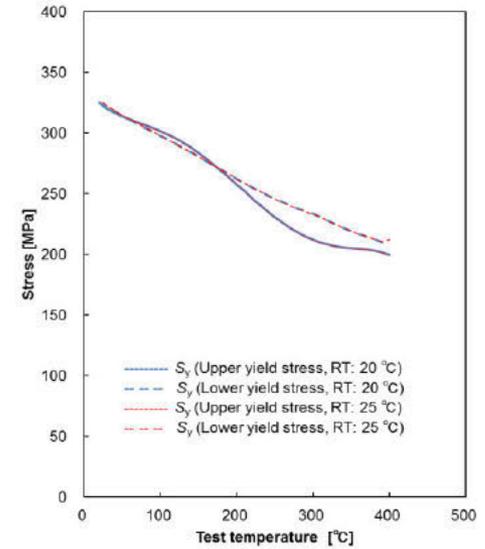
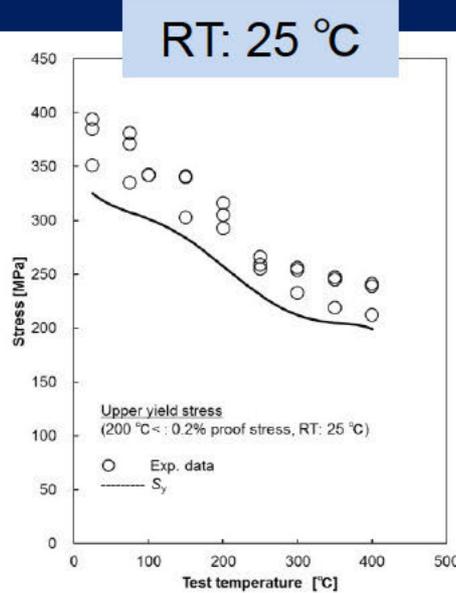
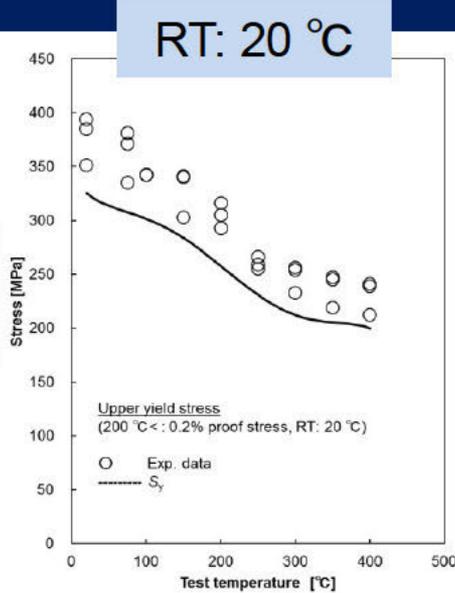
下降伏点
ベース



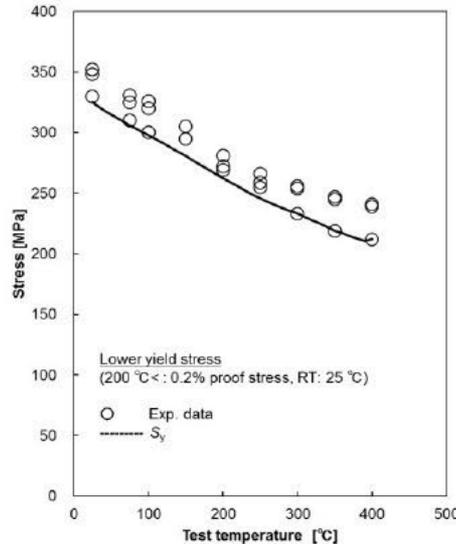
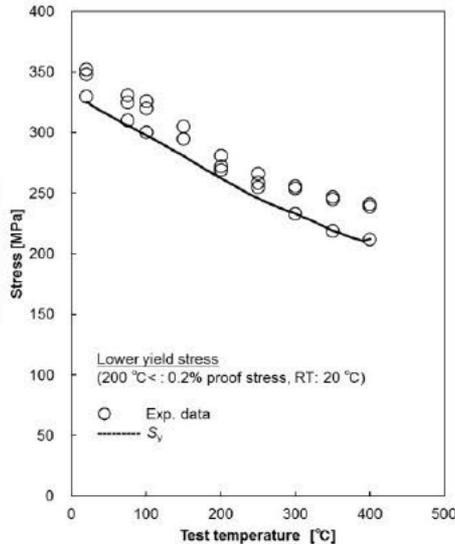
- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

試算結果 / SN490C (t40 mm) の S_y 【案2】

上降伏点
ベース

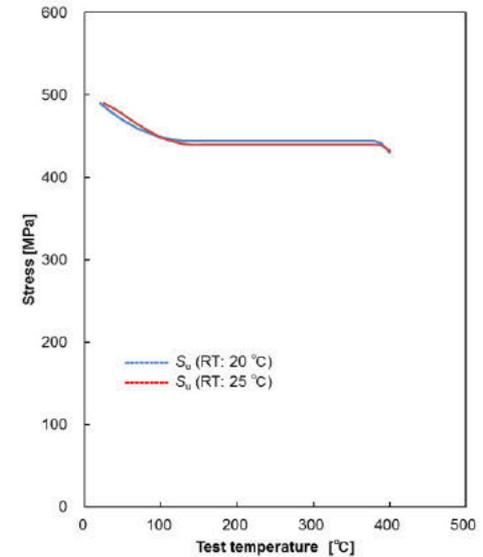
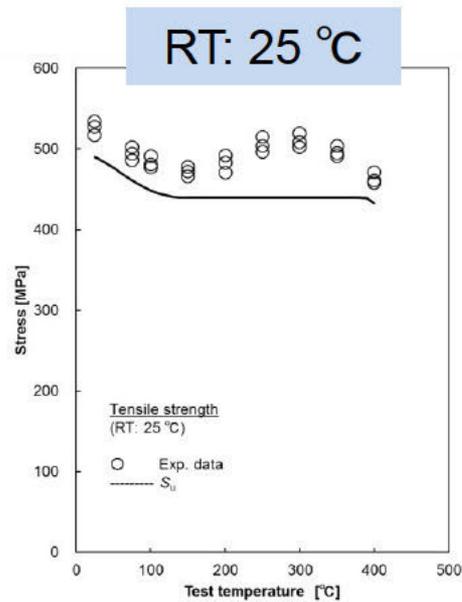
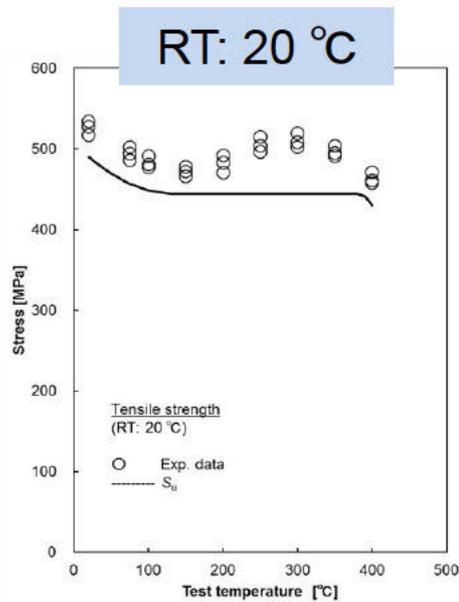


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

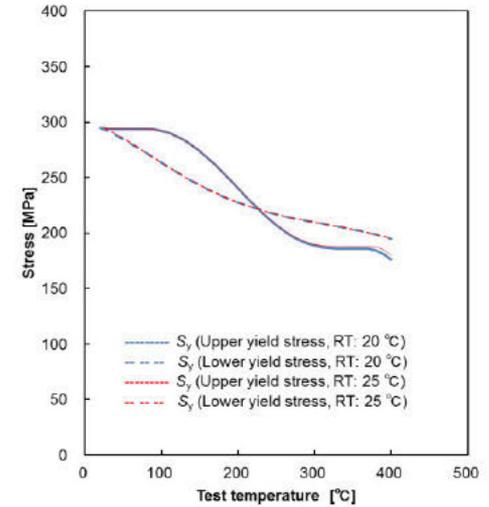
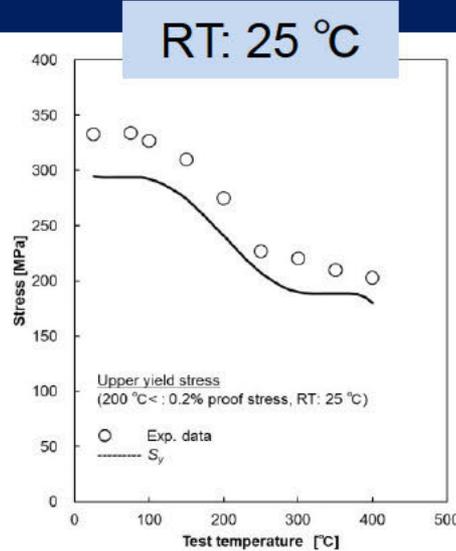
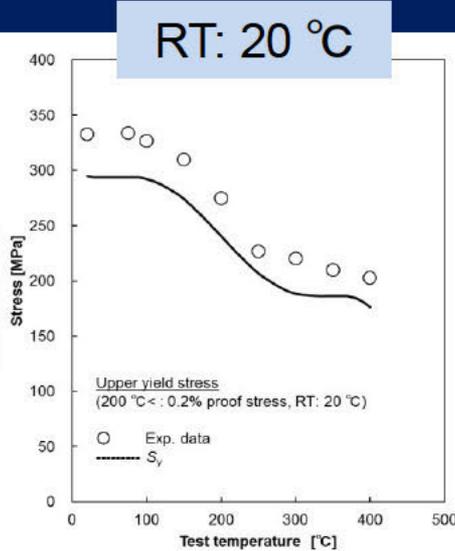
試算結果 / SN490C (t40 mm) の S_u



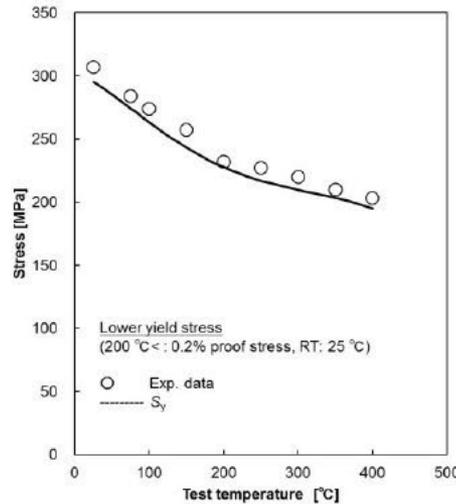
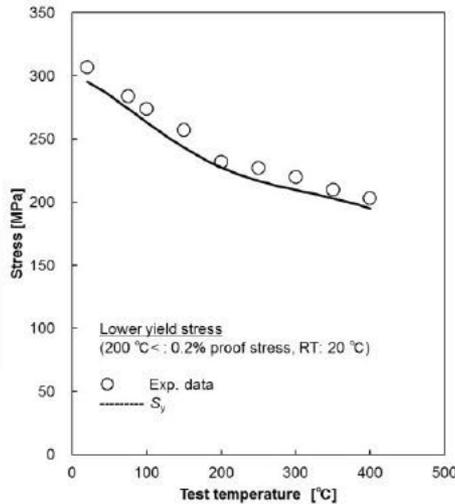
■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / SN490C (t100 mm) の S_y

上降伏点
ベース

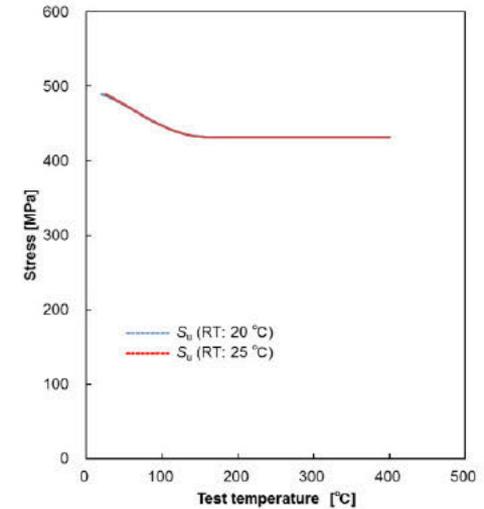
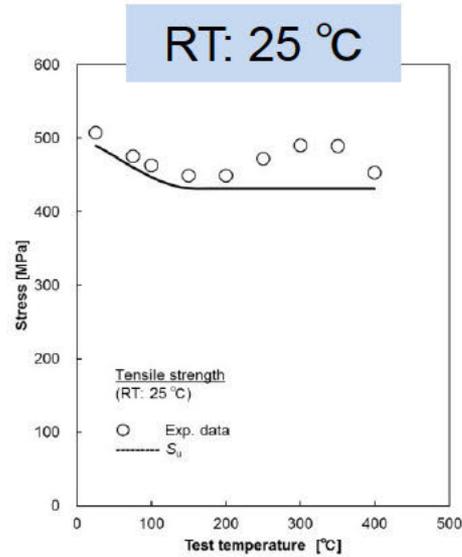
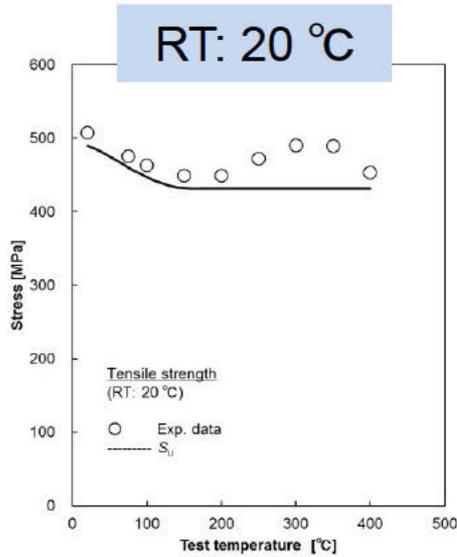


下降伏点
ベース



- RTの影響は、殆ど認められない。
- 解析対象のデータとして、200 °C以下で降伏点を、200 °C超で0.2%耐力を採用している。この境界温度付近を境に、上図のような上下降伏点依存性が認められる。

試算結果 / SN490C (t100 mm) の S_u



■ RTの影響は、殆ど認められない。

試算結果 / S_y (上降伏点ベース)

温度 [°C]	SN400B				SN400C				SN490B				SN490B				[MPa]
	t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm		
	RT: 20 °C	RT: 25 °C															
RT	235	235	215	215	235	235	215	215	325	325	295	295	325	325	295	295	
30	233	234	209	212	231	233	209	212	319	322	289	292	320	322	294	294	
40	232	232	205	206	228	229	204	206	315	316	285	286	317	318	293	294	
50	230	230	202	203	227	228	201	202	311	312	281	282	314	314	293	294	
60	228	228	200	200	227	228	198	199	308	309	278	279	311	311	293	294	
70	226	226	198	198	227	228	196	197	305	306	275	275	309	309	293	294	
75	225	225	198	198	227	228	196	196	304	304	274	274	308	308	293	294	
80	225	225	197	197	227	228	195	195	303	303	273	273	307	306	293	294	
90	223	223	197	196	227	228	193	193	301	301	270	270	304	304	293	294	
100	221	221	196	196	227	228	192	192	298	298	267	267	302	301	292	292	
110	219	219	196	195	227	228	190	190	296	296	264	264	299	299	290	290	
120	217	217	195	195	227	228	188	188	293	293	261	261	296	295	287	287	
130	215	215	194	194	227	228	185	185	291	290	258	258	292	292	284	284	
140	213	213	193	193	227	228	183	183	287	287	254	254	288	288	279	279	
150	210	211	192	192	227	228	179	179	284	284	250	250	284	284	274	274	
160	208	208	190	190	227	228	176	176	280	280	246	246	279	279	268	268	
170	206	206	188	188	225	226	172	172	276	276	242	242	274	274	262	262	
180	204	204	186	186	222	222	168	168	272	272	237	237	269	269	255	255	
190	201	201	184	184	218	218	163	163	268	268	232	232	263	263	248	248	
200	198	198	181	181	213	213	158	159	263	263	227	227	258	258	240	241	
210	195	195	178	178	208	208	154	154	258	258	222	222	252	252	233	233	
220	192	193	175	175	202	202	149	149	253	253	217	217	246	246	226	226	
230	189	189	171	171	197	197	145	145	248	248	213	213	241	241	219	220	
240	186	186	168	168	191	191	140	141	244	244	208	208	236	236	213	213	
250	183	183	164	164	186	185	136	137	239	239	204	204	231	231	207	208	
260	179	179	161	161	180	180	133	133	234	234	200	200	226	226	202	202	
270	175	175	158	158	175	175	130	130	230	230	196	196	222	222	197	198	
280	172	172	155	155	170	170	127	128	226	226	193	193	218	218	194	194	
290	168	168	152	152	166	166	125	126	222	222	190	190	215	215	191	192	
300	164	164	150	149	163	162	123	124	218	218	187	187	212	212	188	190	
310	160	161	147	147	159	159	122	124	215	215	185	185	210	210	187	189	
320	157	157	146	145	157	156	122	123	213	213	184	184	208	208	186	188	
330	153	154	144	144	155	154	122	123	210	210	183	183	207	207	186	188	
340	150	150	143	143	154	153	122	123	208	208	182	182	206	206	186	188	
350	147	148	142	142	153	152	122	123	207	207	181	181	205	205	186	188	
360	145	145	142	142	153	152	122	123	205	205	180	180	205	204	186	188	
370	143	144	142	142	153	152	122	123	204	204	179	179	204	204	186	188	
380	142	143	142	142	153	151	122	123	203	203	178	178	203	203	184	188	
390	142	142	142	142	153	151	121	123	202	202	176	176	202	202	181	185	
400	142	142	142	142	152	150	118	122	201	201	174	174	200	199	176	180	

試算結果 / S_y (下降伏点ベース)

温度 [°C]	[MPa]																	
	SN400B				SN400C				SN490B				SN490B					
	t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm		t40 mm				t100 mm	
	RT: 20 °C	RT: 25 °C	RT: 20 °C		RT: 25 °C		RT: 20 °C	RT: 25 °C										
													案1	案2	案1	案2		
RT	235	235	215	215	235	235	215	215	308	308	295	295	315	325	315	325	295	295
30	232	233	211	213	230	232	213	213	304	306	293	294	311	321	313	323	292	293
40	228	229	208	209	226	227	210	210	301	302	291	291	308	318	309	319	288	289
50	225	225	205	206	222	223	208	207	298	298	288	288	304	314	305	315	285	285
60	221	222	203	203	219	220	206	204	295	295	285	285	301	311	302	311	280	281
70	218	218	201	201	217	217	203	202	293	292	281	282	298	308	298	308	276	276
75	217	217	200	200	216	216	202	201	291	291	280	280	297	306	297	306	274	274
80	215	215	199	199	215	215	201	200	290	290	278	278	295	304	295	304	272	272
90	213	213	198	198	213	213	198	198	288	288	274	274	292	301	292	301	268	268
100	211	211	197	197	211	211	196	196	286	286	270	270	289	298	289	298	263	263
110	209	209	196	196	210	210	193	194	284	284	267	267	285	295	285	294	259	259
120	208	208	195	195	209	209	191	191	282	282	263	263	282	291	282	291	255	255
130	207	207	194	194	208	208	188	189	280	281	259	259	279	288	279	288	251	251
140	206	206	193	193	207	207	186	187	279	279	256	255	275	284	275	284	247	247
150	205	205	192	192	207	207	183	184	277	277	252	252	272	281	272	280	243	243
160	205	205	191	191	206	206	180	182	275	275	249	249	268	277	268	277	240	240
170	204	205	190	190	205	205	178	179	273	273	245	245	265	273	265	273	236	236
180	204	204	189	189	204	204	175	176	271	271	242	242	261	270	261	270	233	233
190	204	204	188	188	203	203	172	173	269	269	239	239	258	266	258	266	230	230
200	203	204	186	186	202	202	170	170	266	266	237	237	254	262	254	262	228	228
210	203	203	185	185	200	200	167	167	264	264	234	234	251	259	251	259	225	225
220	202	202	183	183	199	199	165	165	261	261	231	231	248	255	248	255	223	223
230	201	201	181	181	197	197	162	162	258	258	229	229	244	252	244	252	221	221
240	199	199	179	180	195	195	160	159	255	255	227	227	241	249	241	249	219	219
250	197	197	178	178	192	192	158	157	252	252	224	224	238	246	238	246	217	217
260	195	195	176	176	190	190	155	154	249	249	222	222	235	243	235	243	215	215
270	192	192	174	174	187	187	153	152	246	245	220	220	233	240	233	240	214	214
280	189	189	172	171	184	184	151	150	242	242	218	218	230	238	230	238	212	212
290	186	186	170	169	181	181	149	148	239	239	216	216	228	236	228	235	211	211
300	182	182	167	167	177	177	148	147	235	235	214	214	226	233	226	233	210	210
310	178	178	166	165	174	174	146	146	232	232	213	212	224	231	224	230	208	208
320	173	174	164	164	171	171	144	145	229	229	211	211	223	228	223	228	207	207
330	169	169	162	162	168	168	143	144	225	225	209	209	221	225	221	225	206	206
340	165	165	160	160	165	165	142	143	222	223	207	207	220	222	220	222	205	205
350	161	162	159	159	162	163	141	143	220	220	205	205	219	219	219	219	203	203
360	158	158	158	158	160	161	140	142	217	218	203	203	217	217	217	217	202	202
370	156	156	157	157	159	159	140	142	216	216	201	201	216	215	216	215	200	200
380	154	155	157	157	159	159	140	141	214	215	200	200	215	213	215	213	198	199
390	154	155	157	157	159	159	140	141	214	214	198	198	213	210	213	210	197	197
400	154	155	157	157	159	159	140	140	214	214	196	196	212	212	212	212	195	195

試算結果 / S_u

温度 [°C]	SN400B				SN400C				SN490B				SN490B			
	t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm		t40 mm		t100 mm	
	RT: 20 °C	RT: 25 °C														
RT	400	400	400	400	400	400	400	400	490	490	490	490	490	490	490	490
30	390	394	393	396	389	394	393	396	484	486	486	487	482	488	486	487
40	382	384	387	389	380	383	386	388	478	479	480	482	476	482	481	482
50	375	377	381	382	374	376	380	381	471	472	475	476	469	476	475	476
60	371	372	376	377	369	370	375	375	466	466	469	469	464	470	469	470
70	368	369	372	372	367	367	369	370	461	461	463	463	459	464	463	463
75	368	368	370	370	367	367	367	367	458	459	460	460	457	461	460	460
80	367	367	368	368	366	366	365	365	456	456	457	457	455	458	457	457
90	367	367	365	365	366	366	361	361	453	453	452	452	452	453	452	452
100	367	367	364	363	366	366	357	357	451	451	447	447	449	449	447	447
110	367	367	363	363	366	366	355	354	450	449	442	442	447	445	442	442
120	367	367	363	363	366	366	352	352	449	449	439	439	445	442	439	439
130	367	367	363	363	366	366	351	351	449	449	436	436	444	441	436	436
140	367	367	363	363	366	366	350	350	449	449	434	434	444	440	434	433
150	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
160	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
170	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
180	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
190	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
200	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
210	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
220	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
230	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
240	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
250	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
260	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
270	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
280	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
290	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
300	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
310	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
320	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
330	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
340	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
350	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
360	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
370	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
380	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	444	440	432	432
390	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	441	439	432	432
400	367	367	363	363	366	366	349	349	449	449	432	432	430	432	432	432

SN材 (JIS G 3136 建築構造用圧延鋼材) の S_y, S_u 検討

2015.5.26

1. SN材の S_y, S_u 策定における検討課題

検討課題①

区分分け

(1) B材とC材は同一の S_y, S_u として良いか。

(2) 40 mmと100 mmで同一の S_u として良いか。

(3) 上記以外の区分についても、同一のトレンドカーブを用いた方が良い区分はないか。

検討課題②

S_y のトレンドカーブ策定に、上降伏点、下降伏点、0.2%耐力をどのように使用するか
第7回議事録案より

「降伏点は、上降伏点と下降伏点の両方の場合について解析する。ただし、250℃以上の温度領域においては、0.2%耐力を降伏点として用いることとする。」

- 250℃で分ける根拠はどうするのか。
- 上降伏点、下降伏点を有する他の材料は、どのように S_y を策定しているのか。
- 上記のような複雑なデータベースで良いか (250℃で不連続とならないか)。

検討課題③

室温 (20℃ or 25℃) について

課題① (1)、課題③について検討した結果を下記に示す。

2. 検討課題① 区分分け

許容値設定が必要な区分は、細かく分けると S_y で 8、 S_u で 8 の計 16 となる。試験データに基づく検討より技術的に可能であれば、JIS の常温機械的特性の区分などを参考として、材料規格に規格化されている他の材料同様に同一とできる区分は、同一の許容値を与えるべきでないか。

		S_y		S_u	
		40mm	100mm	40mm	100mm
SN400	SN400B				
	SN400C				
SN490	SN490B				
	SN490C				

JIS G3136(2012)の常温機械的性質

		常温降伏点		常温引張強さ	
		40mm	100mm	40mm	100mm
SN400	SN400B	235MPa 以上	215MPa 以上	400MPa 以上	
	SN400C	355MPa 以下	335MPa 以下	510MPa 以下	
SN490	SN490B	325MPa 以上	295MPa 以上	490MPa 以上	
	SN490C	445MPa 以下	415MPa 以下	610MPa 以下	

3. 検討課題① (1) 「B 材と C 材は同一の S_y, S_u として良いか」

B 材と C 材の S_y, S_u を同一とするか否かは、材料 (SN400、SN490) や肉厚区分で個々に判断し、実施するよりも、技術的に可能であれば、統一した方が良いと考える。

- ・ JIS G3136(2012)の常温機械的性質では、常温降伏点、常温引張強さ共に B 材と C 材は同一の値が設定されている。
- ・ 提案者の要望は、材料 (SN400、SN490) や肉厚区分を問わず、すべて B 材と C 材の許容値は同一としたいとの理解。
- ・ 電力中央研究所報告書 (Q13009) では B 材と C 材に有意差は見なれないとして同一と取り扱っている。
- ・ B 材、C 材それぞれのデータベースより S_y, S_u を算出する場合は下記の課題がある。
 - (1) B 材であるが、検査以外の化学成分・常温機械的特性は C 材であるヒートの取扱いを検討する必要がある。
 - (2) SN490C の 100 mm 材は、2 ヒートが TMCP 材であるため、 S_y, S_u 検討に使用できるヒートは 1 ヒートに限定される。

試験データの整理結果を図 1～図 4 に示す。S_y,S_u 策定において重要となるトレンド（室温値と高温値の比）に注目すると、図 1～図 4 より下記の傾向がみられる。

SN400	40 mm	S _y	B 材と C 材に有意差は見られない
		S _u	B 材と C 材に有意差は見られない
SN400	100 mm	S _y	C 材の方が B 材より高温における強度低下が大きい傾向
		S _u	C 材の方が B 材より高温における強度低下が大きい傾向
SN490	40 mm	S _y	B 材と C 材に有意差は見られない
		S _u	B 材と C 材に有意差は見られない
SN490	100 mm	S _y	B 材と C 材に有意差は見られない
		S _u	B 材と C 材に有意差は見られない

SN400 の 100 mm材以外は、B 材と C 材のトレンドに有意差は見られないため、B 材単独、C 材単独、B+C 材でトレンドカーブを策定しても大きな違いは生じないと推定できる。そのため、SN400 の 100 mm材の取扱いについてケーススタディを実施した。

SN400 100 mm S_y, S_u ケーススタディ

- (1) SN400 100 mm B 材の 0.2%耐力による S_y 算出
- (2) SN400 100 mm C 材の 0.2%耐力による S_y 算出
- (3) SN400 100 mm B+C 材の 0.2%耐力による S_y 算出
- (4) SN400 100 mm B 材の引張強さによる S_u 算出
- (5) SN400 100 mm C 材の引張強さによる S_u 算出
- (6) SN400 100 mm B+C 材の引張強さによる S_u 算出

※1：S_y は 0.2%耐力より算出した。上降伏点は、ばらつきが大きいため、除外した。下降伏点と 0.2%耐力に関する室温強度との比の図（図 2-2、図 2-3）より、B 材と C 材の差は、0.2%耐力の方が大きいため、0.2%耐力を用いた検討により判断可能と考えた。

※2：回帰する次数は、3 次から 5 次で検討することとなっているが、ケース数が多くなるため、電力中央研究所報告書（Q13009）を参考に 4 次式とした。

※3：B 材であるが、検査以外の化学成分・常温機械的特性は C 材であるヒートは、B 材として取り扱った。

※4：試験温度および解析に用いる室温は 25℃とした。

解析結果

図5に S_y ケーススタディ結果を、図6に S_u ケーススタディ結果を示す。

- ・0.2%耐力、引張強さ共に、B材とC材のトレンドカーブには有意差が認められる。
- ・B+C材データより策定した S_y は全データ（C材）を包絡できない。
- ・ S_u は、「高温の値が低温を上回らないこと」のルールにより、B材とC材で有意差はなくなる。

上記結果より、少なくとも S_y については、SN400 100mmにおいて、B材とC材を同一と扱うことは出来ないと考えられる。

（B材とC材の S_y を同一とするには、C材3ヒートで算出した S_y をB材にも保守的に適用するという手法が考えられる。）

まとめ

B材とC材同一の許容値について検討し結果、SN400の100mm材 S_y は対応が必要であるが、その他についてはB材とC材で同一の許容値が設定可能と考えられる。

4. 検討課題③「室温について」

S_y, S_u 策定における「室温」を何℃とするのか。

(1) 試験データについて

- ・具体的な温度が記載された試験データ
20℃、23℃、25℃などの提出データそのまま取り扱う
20℃もしくは25℃として取り扱う
- ・RTと記載された試験データ
20℃もしくは25℃として取り扱う

(2) S_y, S_u 策定における室温の温度について

- ・20℃もしくは25℃として取り扱う

3.で実施した6ケースの S_u, S_y ケーススタディは、試験データは提出データのままである25℃とし、 S_u, S_y 策定における室温も25℃として試算した。 S_y, S_u 策定における室温の影響を検討するために、 S_u, S_y 策定における室温を20℃として計算した。計算結果を添付1に示す。20℃とした方が S_y で最大2MPa、 S_u で最大5MPa保守的な値となった。

図 1 のシンボル

材料名	板厚	ヒート名	備考	シンボル
SN400B	40	0B41(C 材相当)	C 材相当	●
SN400B	40	0B42(B 材)	B 材	▲
SN400B	40	0B43(B 材)	B 材	■
SN400B	100	0B11(B 材)	B 材	●
SN400B	100	0B12(C 材相当)	C 材相当	▲
SN400B	100	0B13(C 材相当)	C 材相当	■
SN400C	40	0C41(C 材)	C 材	○
SN400C	40	0C42(C 材)	C 材	△
SN400C	40	0C43(C 材)	C 材	□
SN400C	100	0C11(C 材)	C 材	○
SN400C	100	0C12(C 材)	C 材	△
SN400C	100	0C13(C 材)	C 材	□

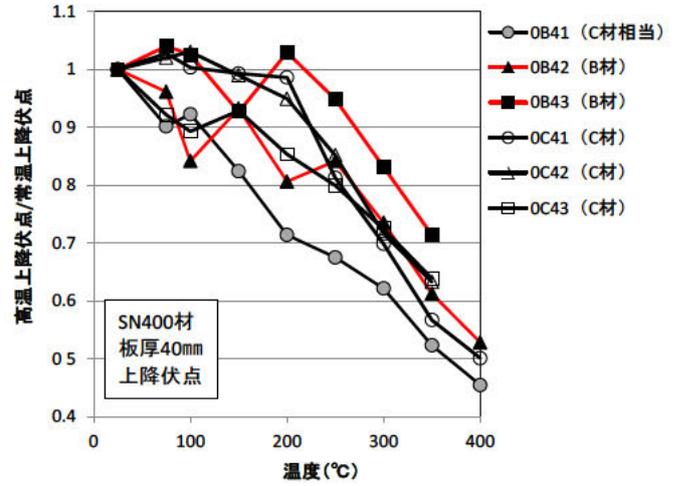
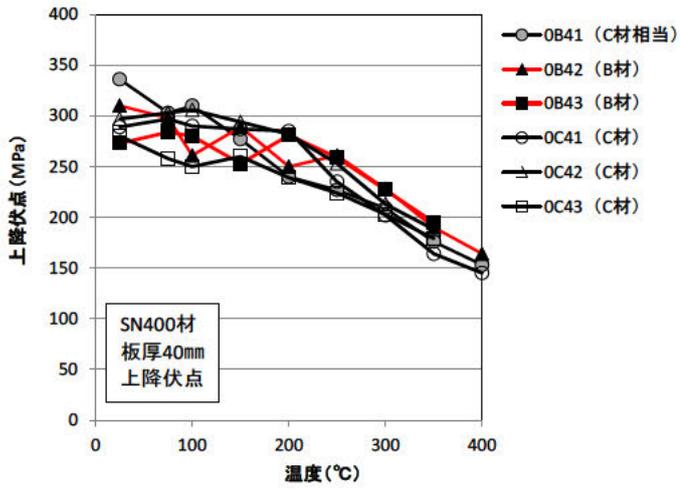


図 1-1 SN400 (40 mm) 上降伏点

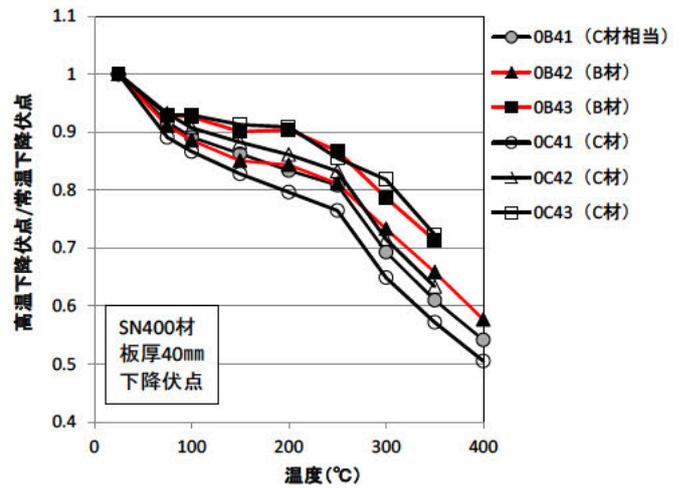
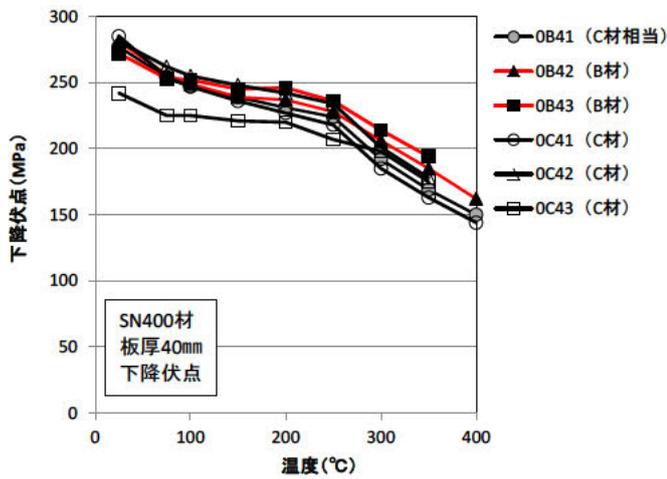


図 1-2 SN400 (40 mm) 下降伏点

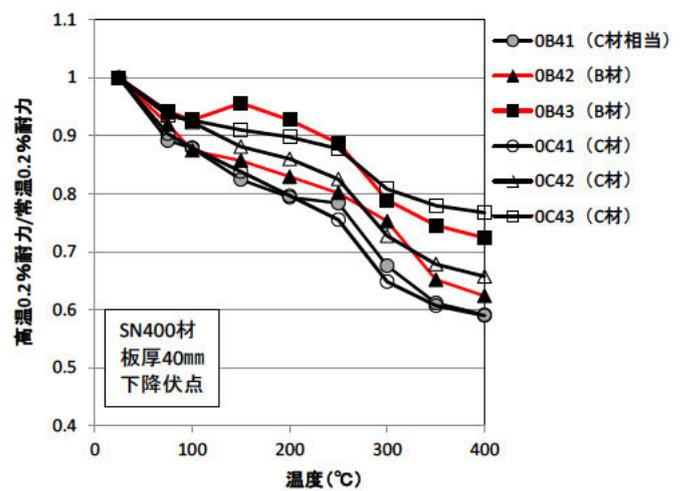
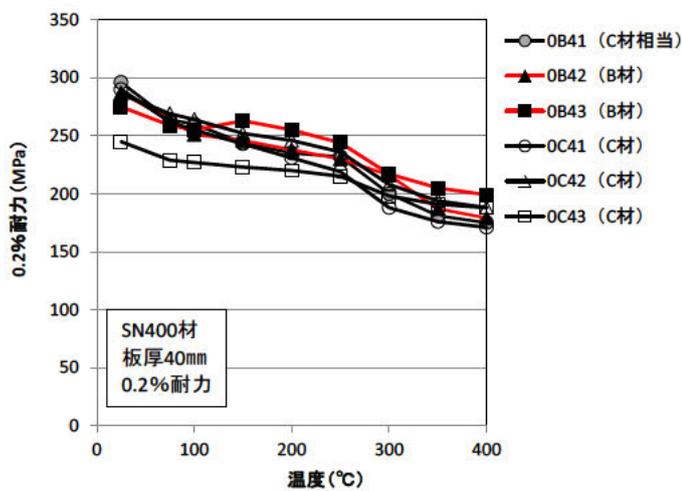


図 1-3 SN400 (40 mm) 0.2%耐力

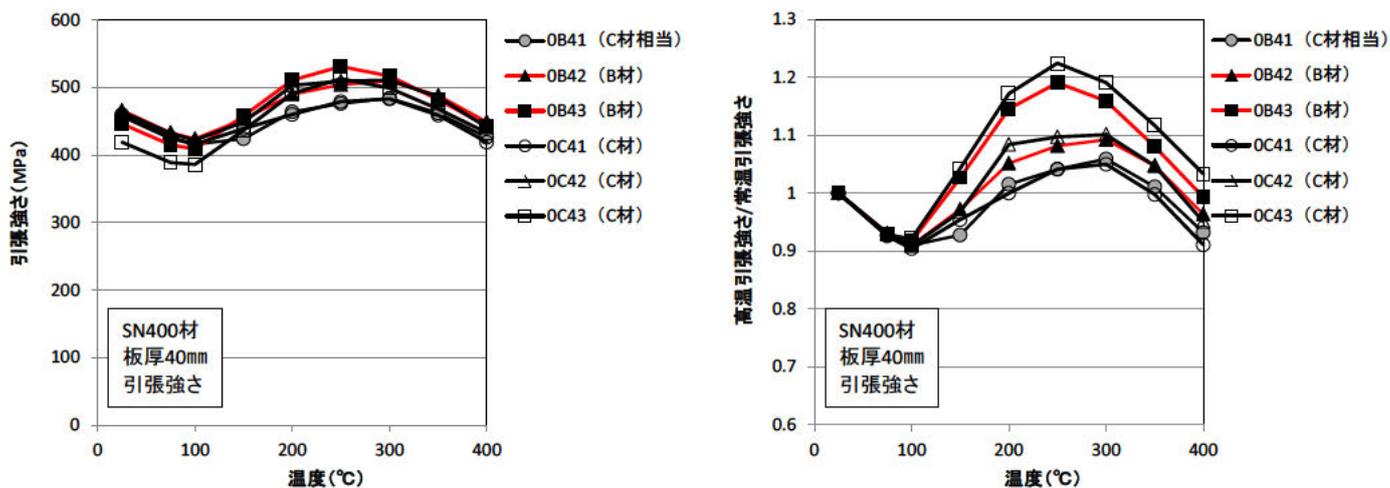


図 1-4 SN400 (40 mm) 引張強さ

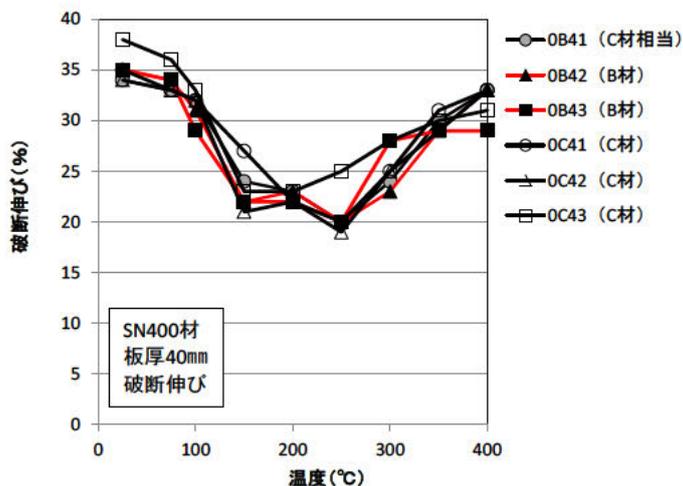


図 1-5 SN400 (40 mm) 破断伸び

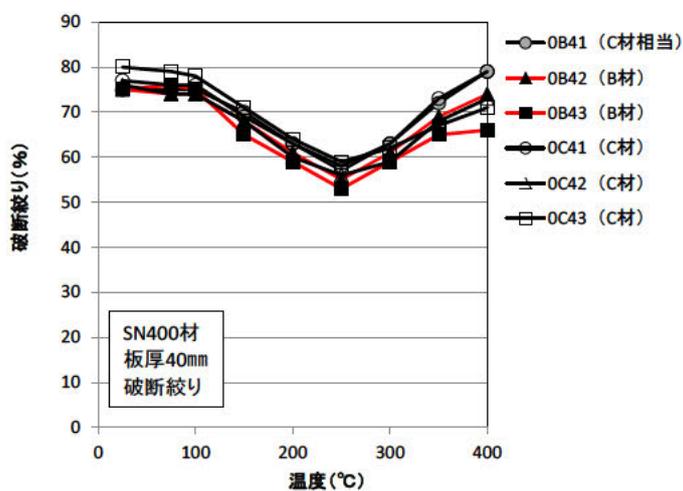


図 1-6 SN400 (40 mm) 破断絞り

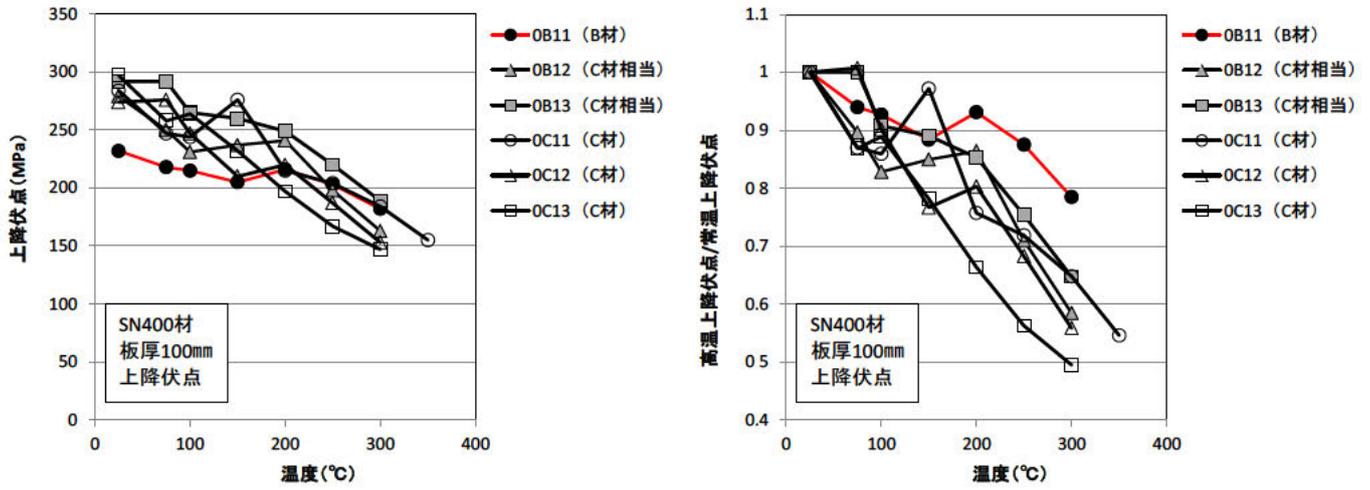


図 2-1 SN400 (100 mm) 上降伏点

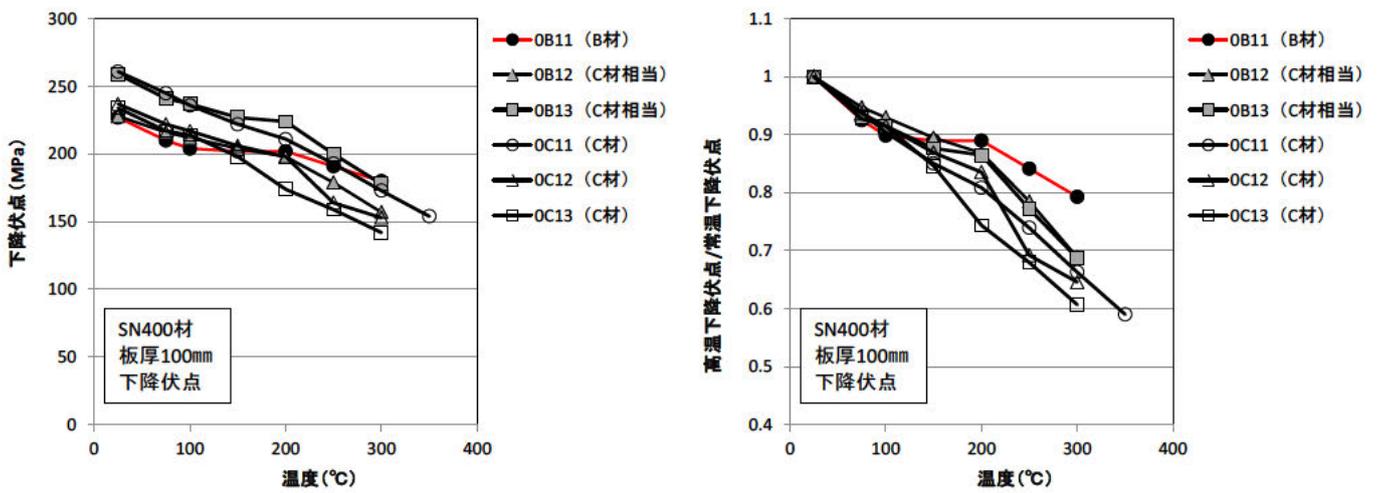


図 2-2 SN400 (100 mm) 下降伏点

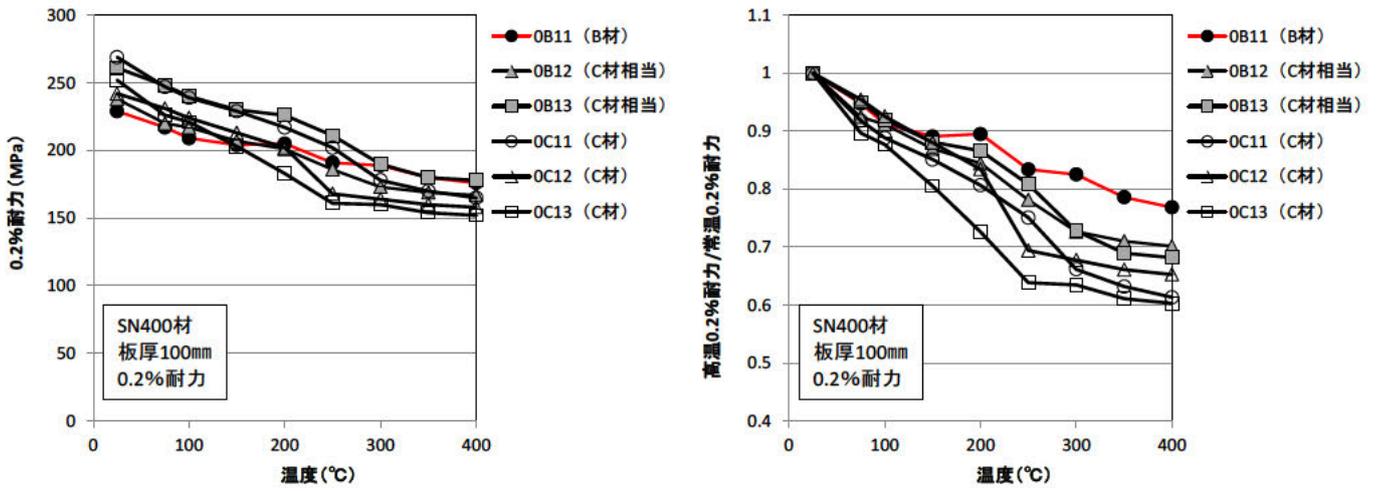


図 2-3 SN400 (100 mm) 0.2%耐力

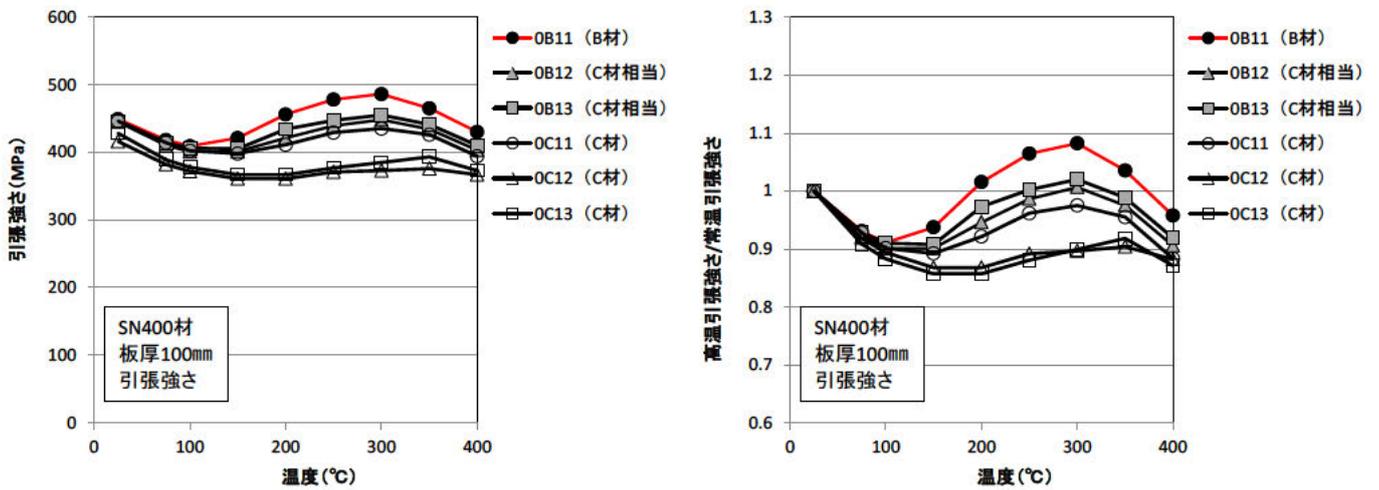


図 2-4 SN400 (100 mm) 引張強さ

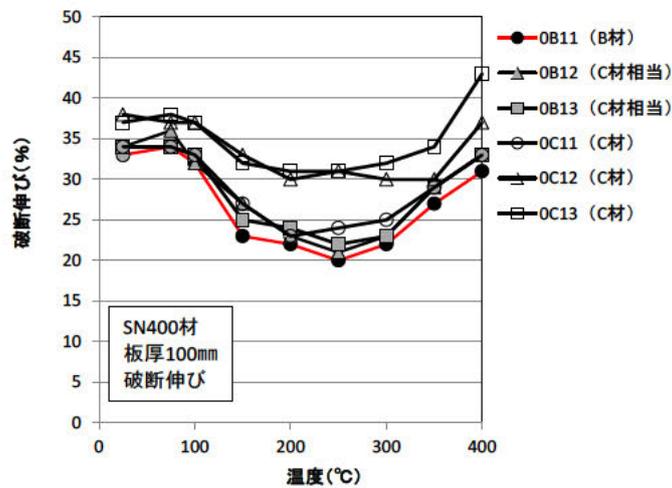


図 2-5 SN400 (100 mm) 破断伸び

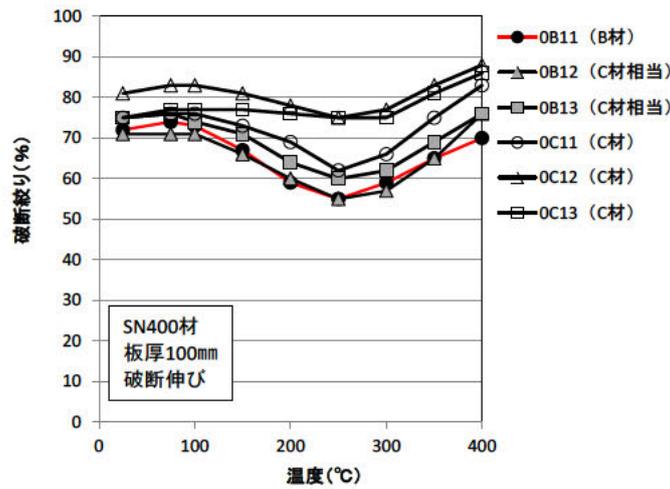


図 2-6 SN400 (100 mm) 破断絞り

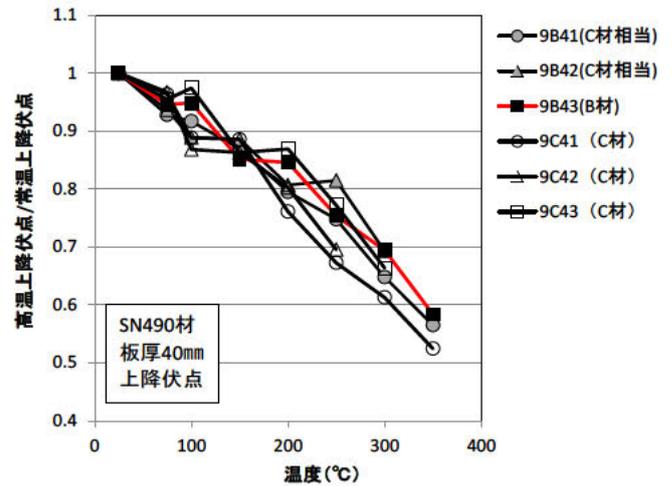
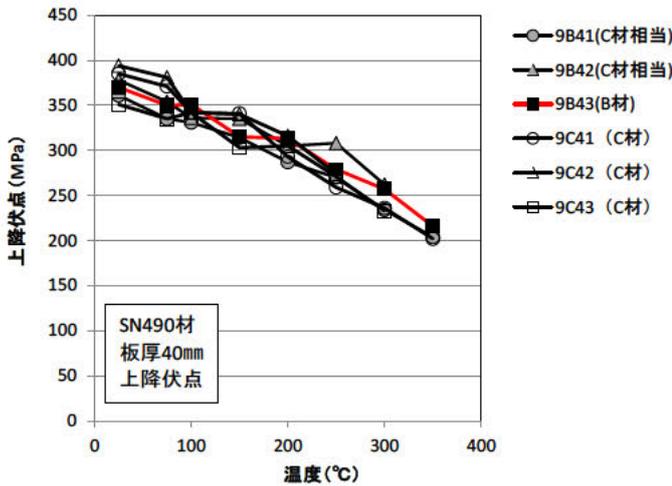


図 3-1 SN490 (40 mm) 上降伏点

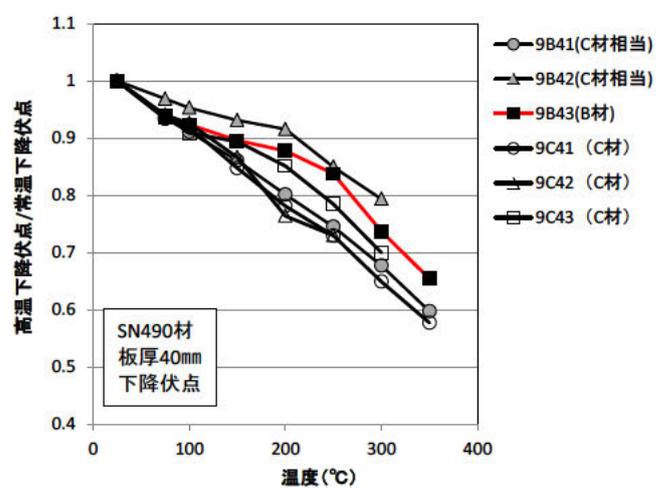
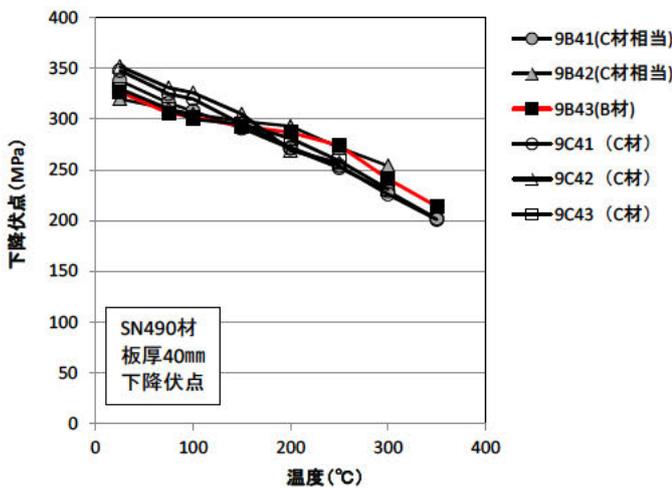


図 3-2 SN490 (40 mm) 下降伏点

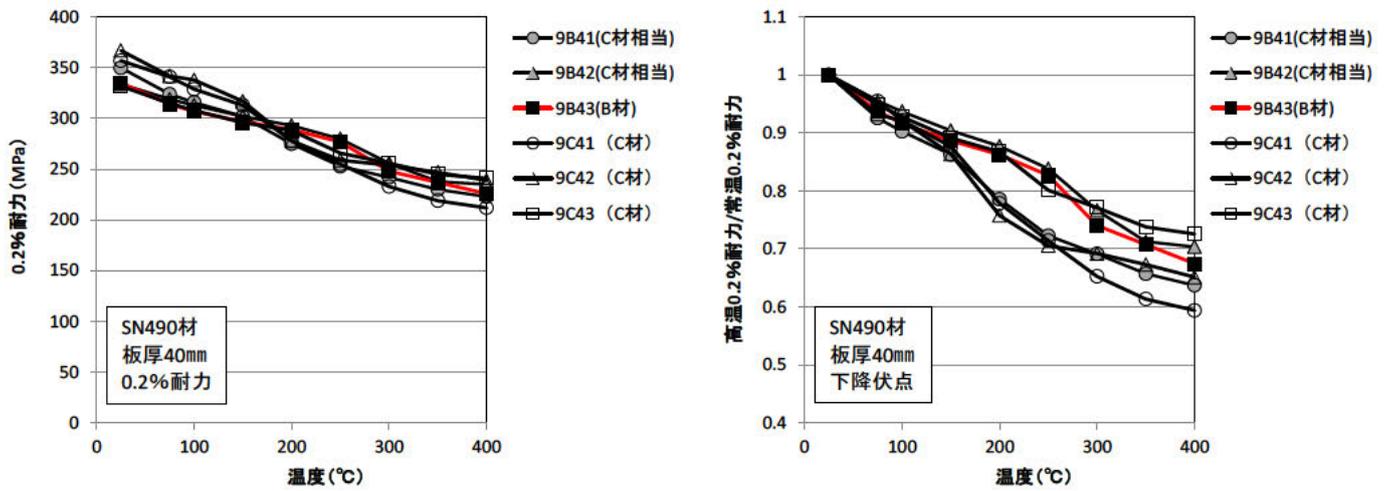


図 3-3 SN490 (40 mm) 0.2%耐力

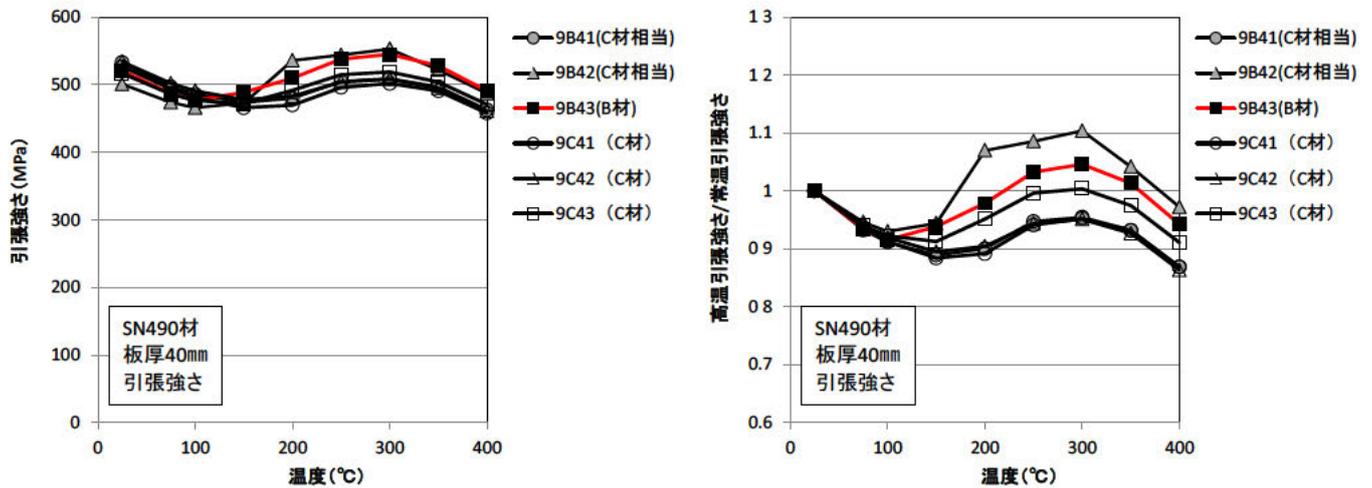


図 3-4 SN490 (40 mm) 引張強さ

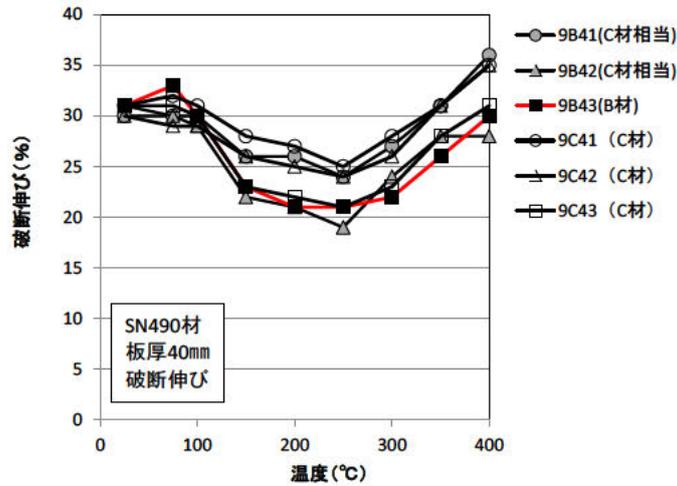


図 3-5 SN490 (40 mm) 破断伸び

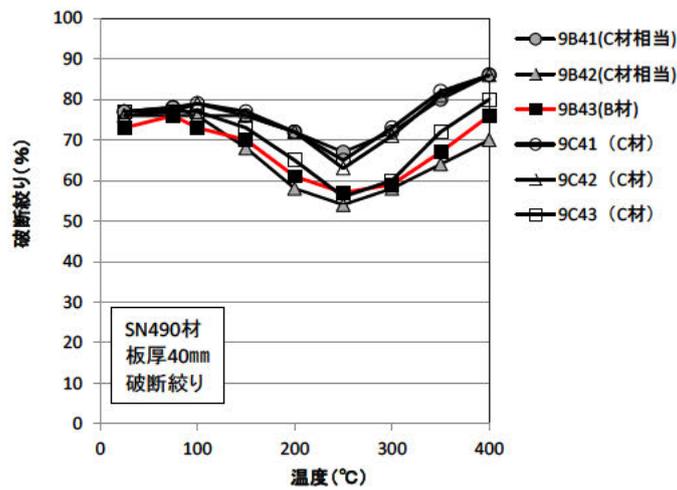


図 3-6 SN490 (100 mm) 破断絞り

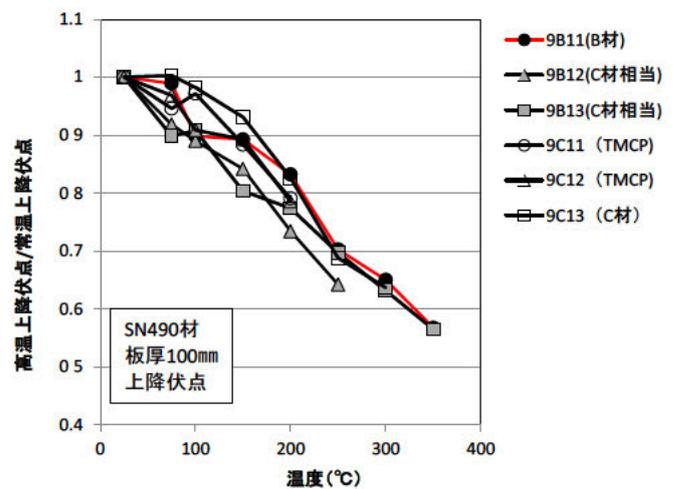
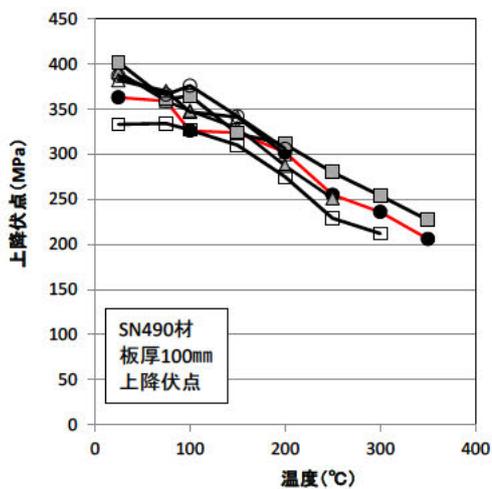


図 4-1 SN490 (100 mm) 上降伏点

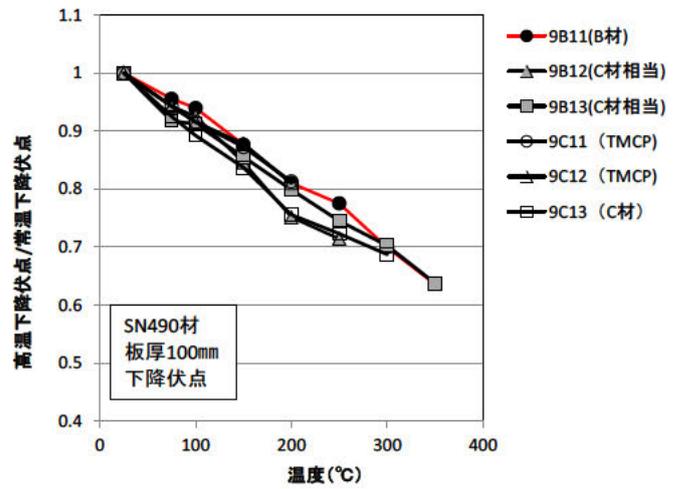
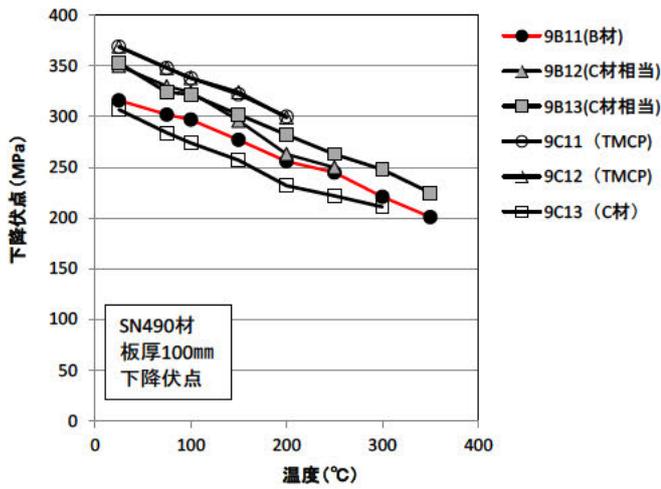


図 4-2 SN490 (100 mm) 下降伏点

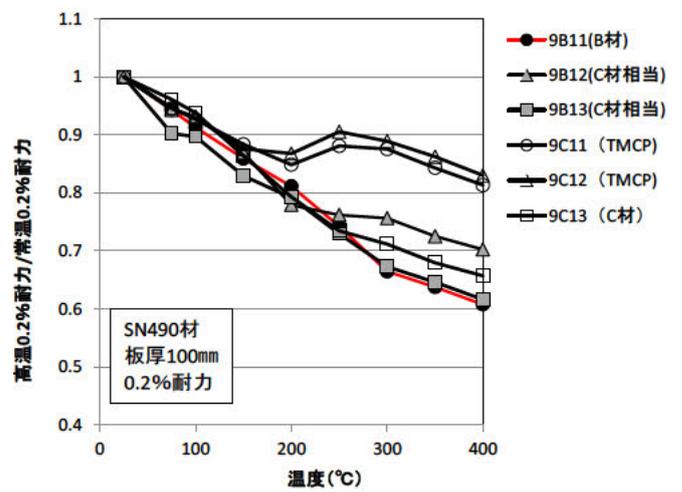
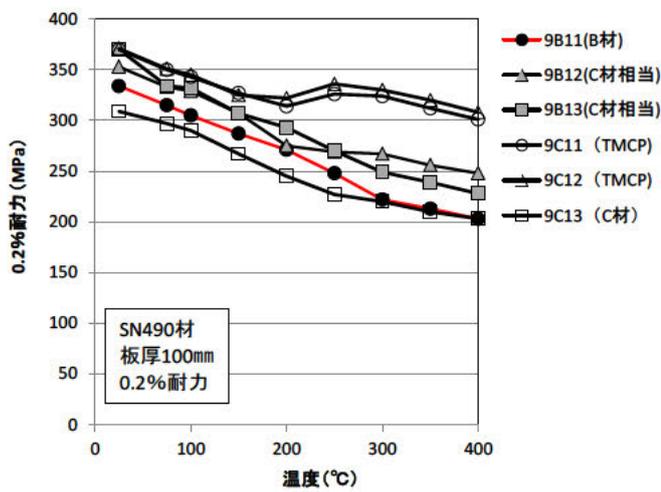


図 4-3 SN490 (100 mm) 0.2%耐力

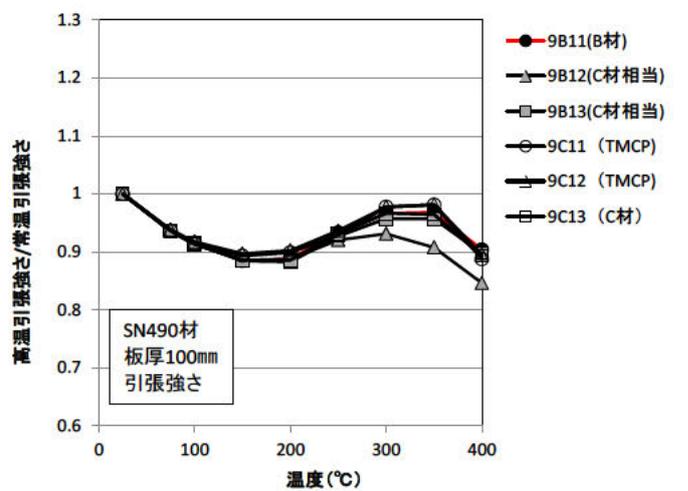
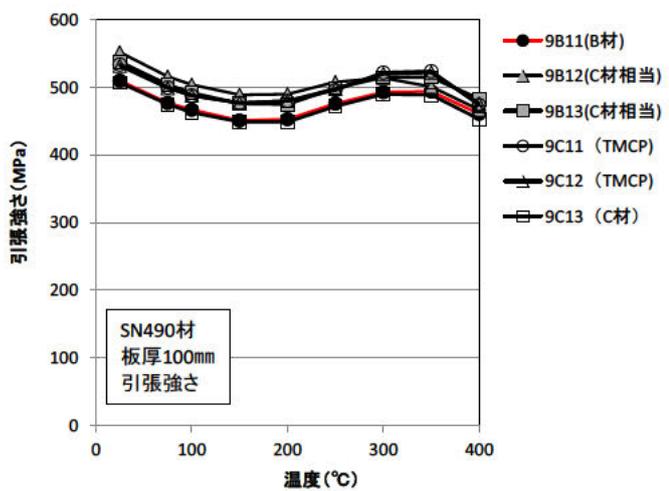


図 4-4 SN490 (100 mm) 引張強さ

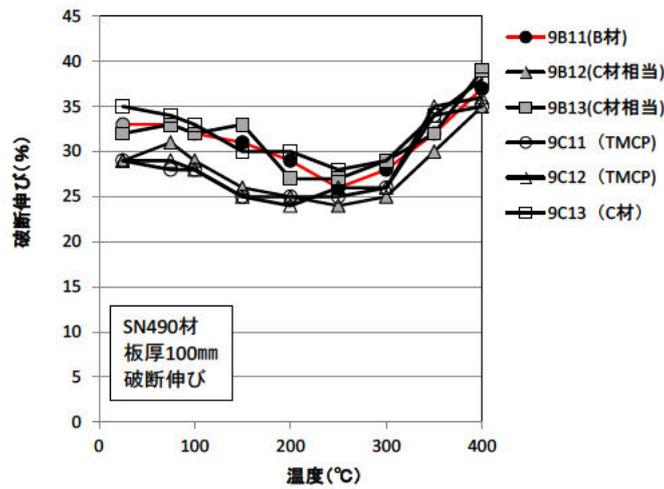


図 4-5 SN490 (100 mm) 破断伸び

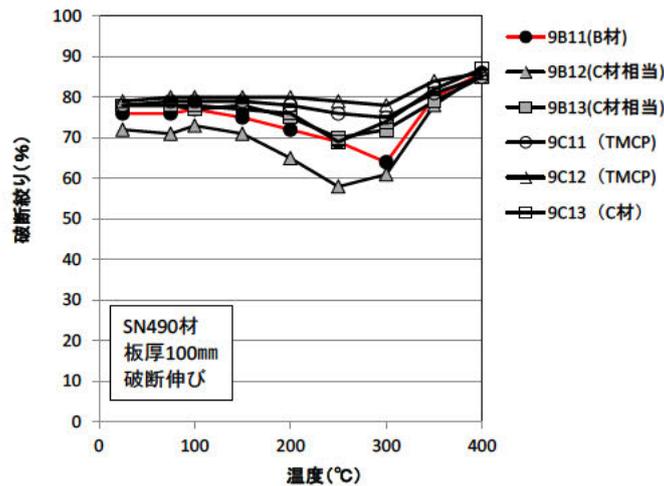


図 4-6 SN490 (100 mm) 破断絞り

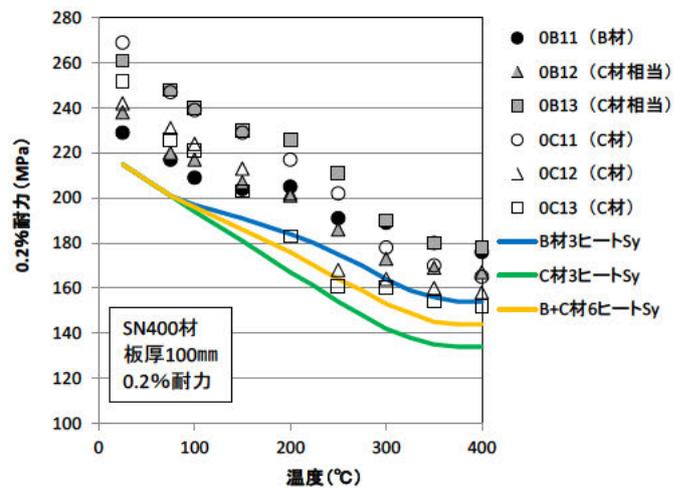
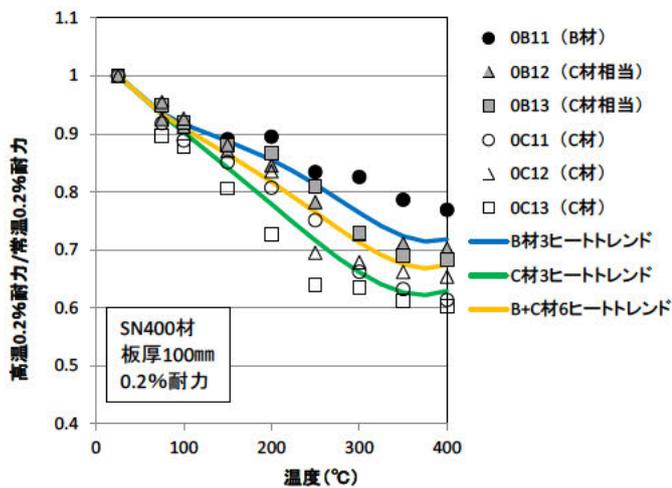


図5 SN400 (100 mm) S_y 検討結果

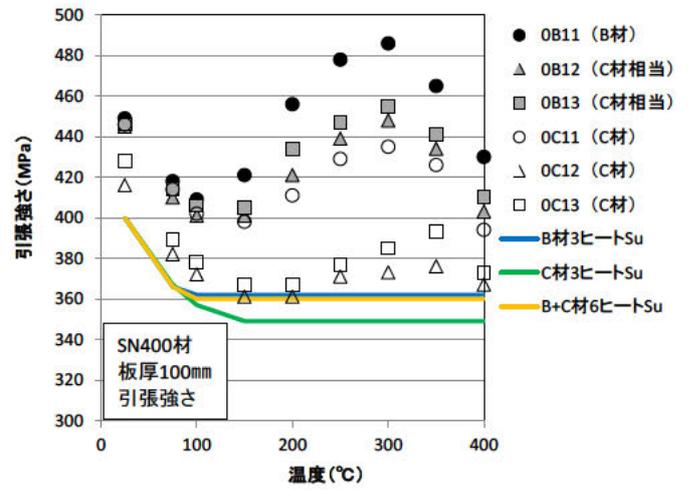
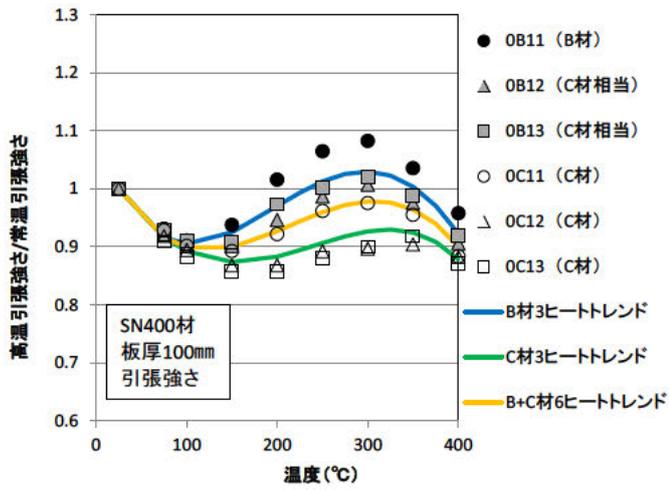


図6 SN400 (100 mm) S_u 検討結果

添付 1

- (1) SN400 100 mm B材の0.2%耐力による S_y 算出
- (2) SN400 100 mm C材の0.2%耐力による S_y 算出
- (3) SN400 100 mm B+C材の0.2%耐力による S_y 算出
- (4) SN400 100 mm B材の引張強さによる S_u 算出
- (5) SN400 100 mm C材の引張強さによる S_u 算出
- (6) SN400 100 mm B+C材の引張強さによる S_u 算出

(1) ~ (3) の S_y 算出における室温の影響は、同じ傾向であったため、代表例として (1) の算出結果を示す。
(4) ~ (6) の S_u 算出における室温の影響は、同じ傾向であったため、代表例として (4) の算出結果を示す。

(1) SN400 100 mm B材の0.2%耐力による S_y 算出

データ

表 (1) -1 25°Cの結果

温度(°C)	降伏応力	データ点数	27	
		標準偏差	相関係数	R*2
25	1	0.030105	0.95991	0.907142
75	0.947598	パラメータ値		
100	0.912664	A0 =	1.054784	
150	0.89083	A1 =	-0.00256	
200	0.895197	A2 =	1.74E-05	
250	0.834061	A3 =	-6.3E-08	
300	0.825328	A4 =	7.58E-11	
350	0.786026			
400	0.768559			
25	1			
75	0.92437			
100	0.911765			
150	0.869748			
200	0.844538			
250	0.781513			
300	0.726891			
350	0.710084			
400	0.701681			
25	1			
75	0.950192			
100	0.91954			
150	0.881226			
200	0.8659			
250	0.808429			
300	0.727969			
350	0.689655			
400	0.681992			

温度	トレンド	25°Cを1.0に修正	S_y	S_y 25°Cを1.0にしない場合
25	1.000681	1	215	215
75	0.936478	0.935841	201	201
100	0.917379	0.916755	197	197
150	0.888023	0.887418	191	191
200	0.855863	0.855281	184	184
225	0.835926	0.835357	180	180
250	0.813343	0.81279	175	175
275	0.788947	0.78841	170	170
300	0.764281	0.763761	164	164
325	0.741599	0.741094	159	159
350	0.723867	0.723374	156	156
375	0.714761	0.714275	154	154
400	0.718669	0.71818	154	154

表 (1) -2 20°Cの結果および25°Cとの差

温度	トレンド	20°Cを1.0に修正	S_y	室温25°Cと20°Cの差
20	1.010031	1	215	0
75	0.936478	0.927178	199	2
100	0.917379	0.908268	195	2
150	0.888023	0.879204	189	2
200	0.855863	0.847363	182	2
225	0.835926	0.827625	178	2
250	0.813343	0.805266	173	2
275	0.788947	0.781112	168	2
300	0.764281	0.75669	163	1
325	0.741599	0.734234	158	1
350	0.723867	0.716678	154	2
375	0.714761	0.707663	152	2
400	0.718669	0.711531	152	2

赤字：低温の値を高温が上回らないように修正

(4) SN400 100 mm B材の引張強さによる S_u 算出

データ

温度(°C)	降伏応力	データ点数:	27	
25	1	標準偏差	相関係数	R*2
75	0.930958	0.025596	0.892108	0.758739
100	0.910913	パラメータ値		
150	0.937639	A0 =	1.087951	
200	1.01559	A1 =	-0.00409	
250	1.064588	A2 =	2.89E-05	
300	1.082405	A3 =	-6.4E-08	
350	1.035635	A4 =	3.74E-11	
400	0.957684			
25	1			
75	0.921348			
100	0.901124			
150	0.901124			
200	0.946067			
250	0.986517			
300	1.006742			
350	0.975281			
400	0.905618			
25	1			
75	0.928251			
100	0.910314			
150	0.908072			
200	0.973094			
250	1.002242			
300	1.020179			
350	0.988789			
400	0.919283			

表 (4) -1 25°Cの結果

温度	トレンド	25°Cを1.0に修正	S_u
25	1.002839	1	400
75	0.918137	0.915538	366
100	0.907897	0.905328	362
150	0.927646	0.925021	362
200	0.973133	0.970379	362
225	0.996382	0.993561	362
250	1.01579	1.012915	362
275	1.028665	1.025753	362
300	1.032663	1.02974	362
325	1.025791	1.022888	362
350	1.00641	1.003561	362
375	0.973227	0.970472	362
400	0.925304	0.922685	362

表 (4) -2 20°Cの結果および 25°Cとの差

温度	トレンド	20°Cを1.0に修正	S_y	室温25°Cと20°Cの差
20	1.017252	1	400	0
75	0.918137	0.902566	361	5
100	0.907897	0.8925	357	5
150	0.927646	0.911914	357	5
200	0.973133	0.95663	357	5
225	0.996382	0.979484	357	5
250	1.01579	0.998563	357	5
275	1.028665	1.01122	357	5
300	1.032663	1.01515	357	5
325	1.025791	1.008395	357	5
350	1.00641	0.989342	357	5
375	0.973227	0.956722	357	5
400	0.925304	0.909612	357	5

赤字：低温の値を高温が上回らないように修正

日本機械学会 発電用設備規格委員会 材料専門委員会 新材料規格化分科会

平成 27 年 5 月 26 日

JIS G 3136 SN400 および SN490 材の S_y 、 S_u 値の解析

1. はじめに

分科会より提供された JIS G 3136 (2012) 建築用圧延鋼材 (SN 材) の強度特性 (降伏応力および引張強さ) の温度依存性データに基づき、「JSME 発電用原子力設備規格 材料規格 (JSME S NJ-1) 2013 追補」に記載の新規材料採用ガイドラインに規定されるトレンドカーブ法により、設計降伏点 (S_y 値) および設計引張強さ (S_u 値) を評価した。

2. 評価データ

分科会より提供の以下の 4 鋼種、板厚 2 種に関するデータを対象とする。

- ・ SN400B (板厚 40mm および 100mm)
- ・ SN400C (板厚 40mm および 100mm)
- ・ SN490B (板厚 40mm および 100mm)
- ・ SN490C (板厚 40mm および 100mm)

尚、評価に必要となる常温最小降伏点および常温最小引張強さの規格値の設定には JIS G 3136 に記載の値を用いた。また、参考として現行規格値との比較には JSME S NJ-1 に記載の以下の規格を用いた。

- ・ SM400B/C および SM490B/C (板厚 40mm 以下および 100mm 以下) : JIS G 3106 溶接構造用圧延鋼板 (2004)

3. 基本方針

2.項に記載の各鋼材データに対して、以下の方針で S_y 値および S_u 値を評価した。

(a) 評価対象としたデータは、以下とした。

- ・ 室温はひずみ速度種別「A」のデータを用いる。
- ・ 室温よりも高温の降伏強度については、250℃未満は降伏点のデータを、250℃以上は 0.2%耐力のデータを用いた。
- ・ SN490C には TMCP 材が 2 ヒート含まれるが、参考にこれらも含めて解析を行った。

(b) 標本毎に、試験データに対して、各温度での強度値を常温の強度で除し、常温での値が 1.0 になるように正規化する。

- (c) 上記正規化したデータを各温度で平均化した値に対して、温度を変数とした 5 次の多項式近似式によるトレンドカーブを求める。尚、室温データの温度は 20℃とした。
- (d) 上記 (b) で設定したカーブに常温の JIS G 3136 に規定される板厚毎の最小降伏点もしくは最小引張強さを乗じ、各温度での設計強度値 (S_y 、 S_u) を求める。
- (e) 上記 (c) で求めた値と常温の規格値の小さい方を採用する。また、各温度での値がそれより低温での値を超えないように修正する。

4. 評価結果

以下に鋼種と板厚毎に評価結果の概要をまとめる。

4.1 SN400B および C (板厚 40mm)

図-1 に S_y 値および S_u 値の評価結果を示す。プロットはデータ値であり、曲線は S_y 値を結んだ線である。 S_y 値の評価結果に関する所見は以下。

- ・ SN400B および SN400C 共に求めた S_y 値の曲線はデータ群の下限近傍に位置しており、SN400B と SN400C では顕著な違いは認められなかった。
- ・ 同じ板厚の SM400B および SM400C の S_y 値の曲線と比較して、約 150℃以上の高温で曲線が上に位置する結果となった。

S_u 値の評価結果に関する所見は以下。

- ・ SN400B および SN400C 共に求めた S_u 値の曲線はデータ群の下限近傍に位置しており、SN400B と SN400C とでは顕著な違いは認められなかった。
- ・ 同じ板厚の SM400B および SM400C の S_u 値の曲線と比較して、若干下に位置するがほぼ同様となった。

4.2 SN400B および C (板厚 100mm)

図-2 に S_y 値および S_u 値の評価結果を示す。プロットはデータ値であり、曲線は S_y 値を結んだ線である。 S_y 値の評価結果に関する所見は以下。

- ・ SN400B および SN400C それぞれの S_y 値の曲線はそれぞれのデータ群の下限近傍に位置しているが、SN400B に対する曲線は SN400C のデータ群の一部を上回った。
- ・ 同じ板厚の SM400B および SM400C の S_y 値の曲線と比較して、SN400C の曲線はほぼ同様であり、SN400B の曲線は約 100℃以上で上に位置する結果となった。

S_u 値の評価結果に関する所見は以下。

- ・ SN400B では、求めた S_u 値の曲線は SN400B のデータ群に対して裕度を持って下回っている。
- ・ SN400C では、求めた S_u 値の曲線は SN400C のデータ群の下限近傍に位置して

いるが、SN400B に対する曲線に対しては、SN400C のデータ群の一部が上回った。

- ・ 同じ板厚の SM400B および SM400C の S_u 値の曲線と比較して、SN400B の曲線は約 10MPa 程度、SN400C の曲線は約 20MPa 程度、下に位置する結果となった。
- ・ 同じ板厚の SM400B および SM400C の S_u 値の曲線に対して、SN400C のデータ群の一部に下回るものがあった。

4.3 SN490B および C (板厚 40mm)

図-3 に S_y 値および S_u 値の評価結果を示す。プロットはデータ値であり、曲線は S_y 値を結んだ線である。 S_y 値の評価結果に関する所見は以下。

- ・ SN490B の室温データ (0B42 (下降伏点データ)) の中に常温最小降伏点を下回るものがある。
- ・ SN490B および SN490C 共に、求めた S_y 値の曲線はそれぞれのデータ群の一部を若干上回る結果となった。
- ・ 同じ板厚の SM490B および SM490C の S_y 値の曲線と比較して、SN490C の曲線はほぼ同様であり、SN490B の曲線は約 100°C 以上で上に位置する結果となった。
- ・ 同じ板厚の SM490B および SM490C の S_y 値の曲線に対して、SN490C の 300°C および 350°C のデータに下回るものがあった。

S_u 値の評価結果に関する所見は以下。

- ・ SN490B および SN490C 共に求めた S_u 値の曲線はデータ群の下限近傍に位置しており、SN490B と SN490C とでは顕著な違いは認められなかった。
- ・ 同じ板厚の SM490B および SM490C の S_u 値の曲線と比較して、若干上に位置するがほぼ同様となった。

4.4 SN490B および C (板厚 100mm)

図-4 に S_y 値および S_u 値の評価結果を示す。プロットはデータ値であり、曲線は S_y 値を結んだ線である。 S_y 値の評価結果に関する所見は以下。

- ・ SN490B では、求めた S_y 値の曲線は SN490B のデータ群を下回ったが、低温側では裕度を持って下回っているのに対して、300°C 以上の高温側ではほぼデータ群の下限近傍に位置する結果となった。
- ・ SN490C では、求めた S_y 値の曲線は 200°C 以上の高温で TMCP 材ではない 1 ヒート (0C43) のデータに対して上回る結果となった。また、SN490B のデータに対しても、300°C 以上の高温の一部データを上回った。これは、TMCP 材の高温側のデータが TMCP 材でないデータに比べて突出して高くなっているためと考えられる。
- ・ 同じ板厚の SM490B および SM490C の S_y 値の曲線と比較して、SN490B はほぼ

同様であり、SN490C は約 200℃以上で上に位置する結果となった。

- 同じ板厚の SM490B および SM490C の S_y 値の曲線に対して、SN490C のデータ群の一部に下回るものがあった。

S_u 値の評価結果に関する所見は以下。

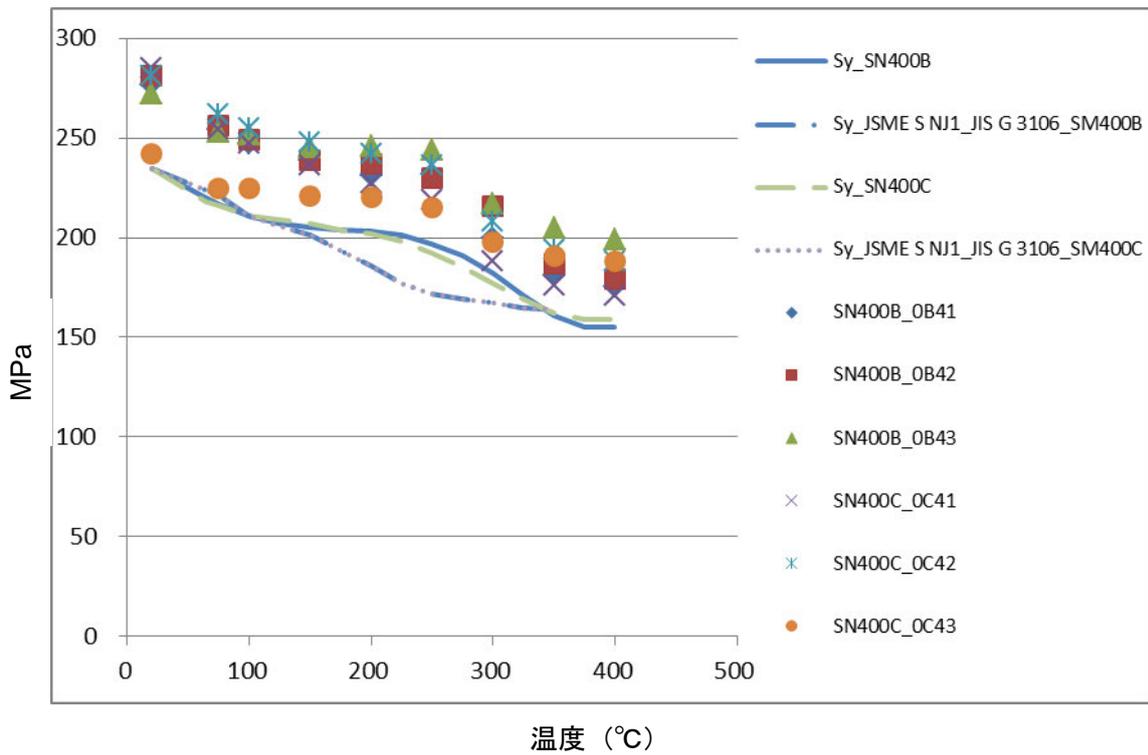
- SN490B および SN490C 共に求めた S_u 値の曲線はデータ群の下限近傍に位置しており、SN490B と SN490C とでは顕著な違いは認められなかった。
- 同じ板厚の SM490B および SM490C の S_u 値の曲線と比較して、150℃以上のプラトーの領域で若干下に位置するがほぼ同様となった。

5. 検討課題

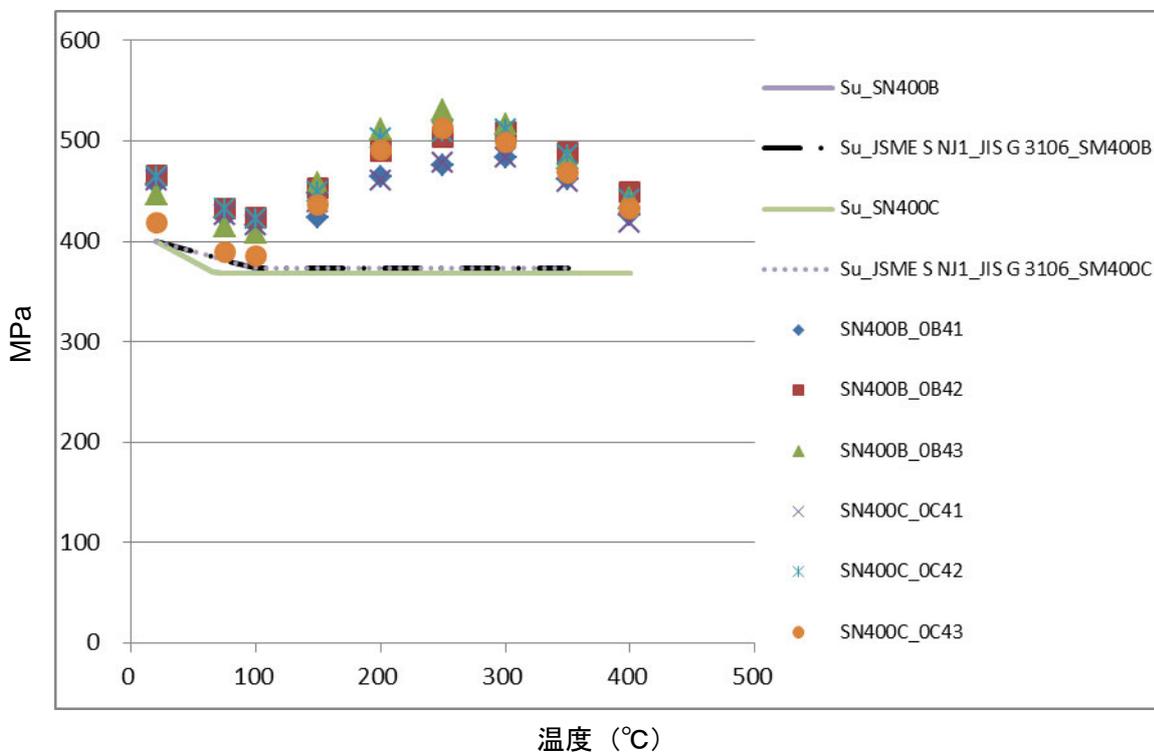
上記の評価結果より、B 材と C 材とで S_y 、 S_u 値の曲線が有意に異なったものや、一部データ群を上回ったものがあることから、以下のような観点の議論が必要と考えられる。

- SN400B と SN400C とで S_y 、 S_u 値の曲線が、有意に異なる場合の設定の考え方。
- S_y 値の曲線が一部データを上回ったケースを受けての対応と考え方。降伏応力データには何を用いるか（上降伏点／下降伏点／0.2%耐力）の設定の影響、データを上回る場合の多項式近似の次数や最小降伏点の再設定の考え方。

以上

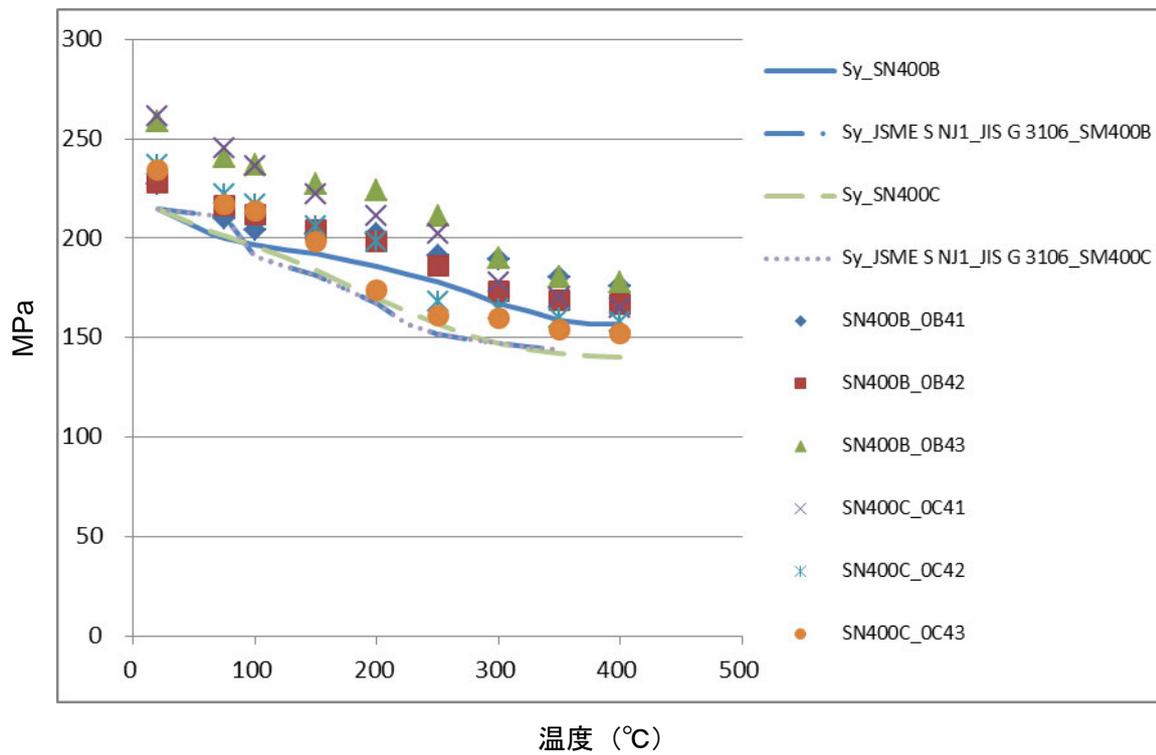


(a) S_y 値の温度依存性

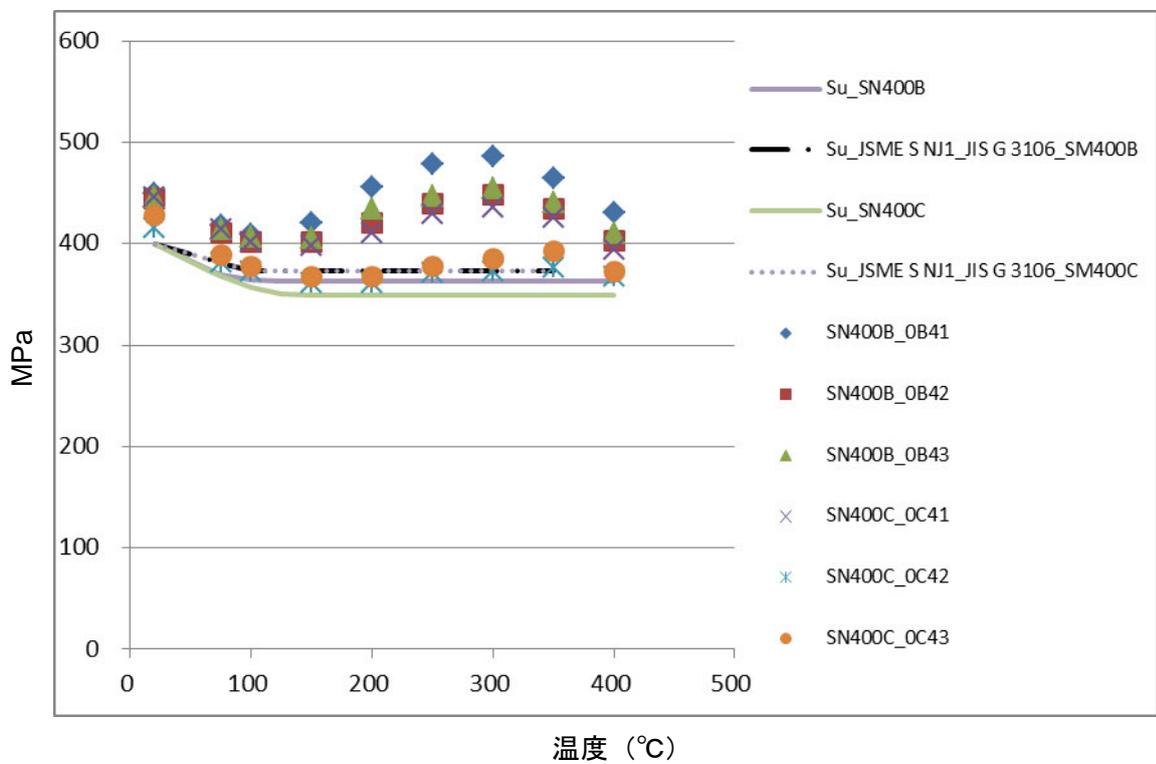


(b) S_u 値の温度依存性

図-1 SN400B および C (板厚 40mm) の S_y 値、 S_u 値の温度依存性

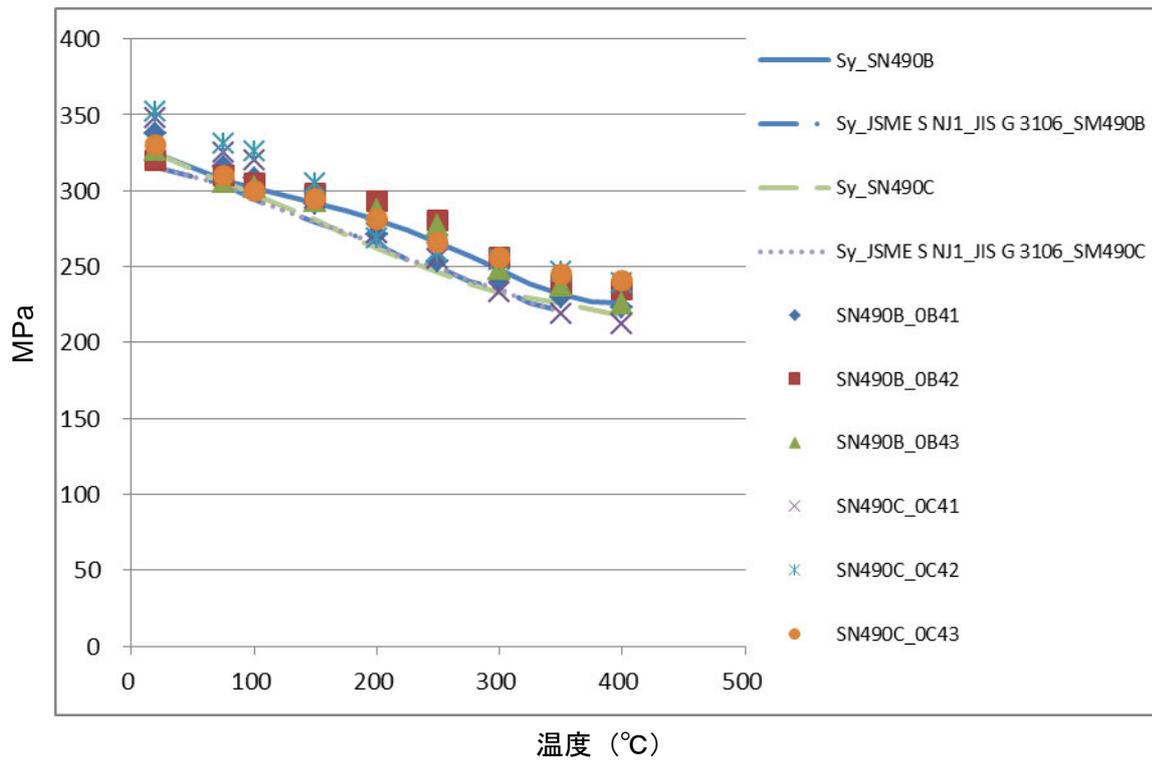


(a) S_y 値の温度依存性

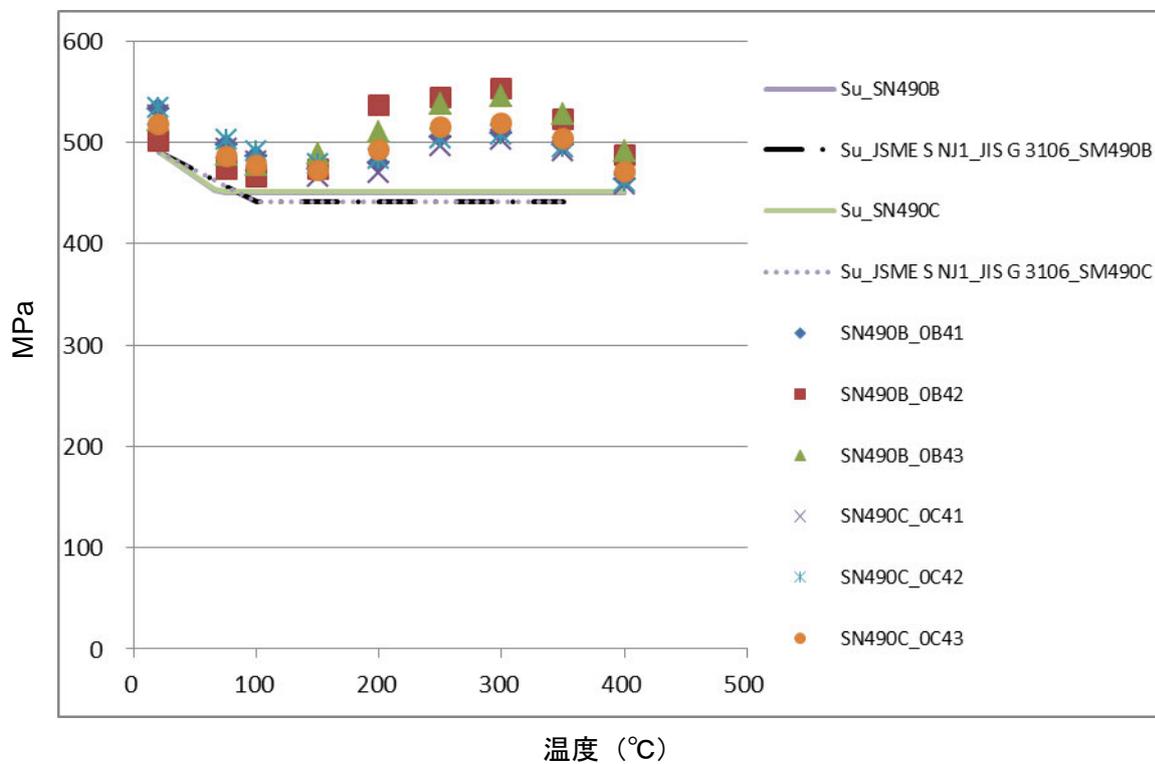


(b) S_u 値の温度依存性

図-2 SN400B および C (板厚 100mm) の S_y 値、 S_u 値の温度依存性

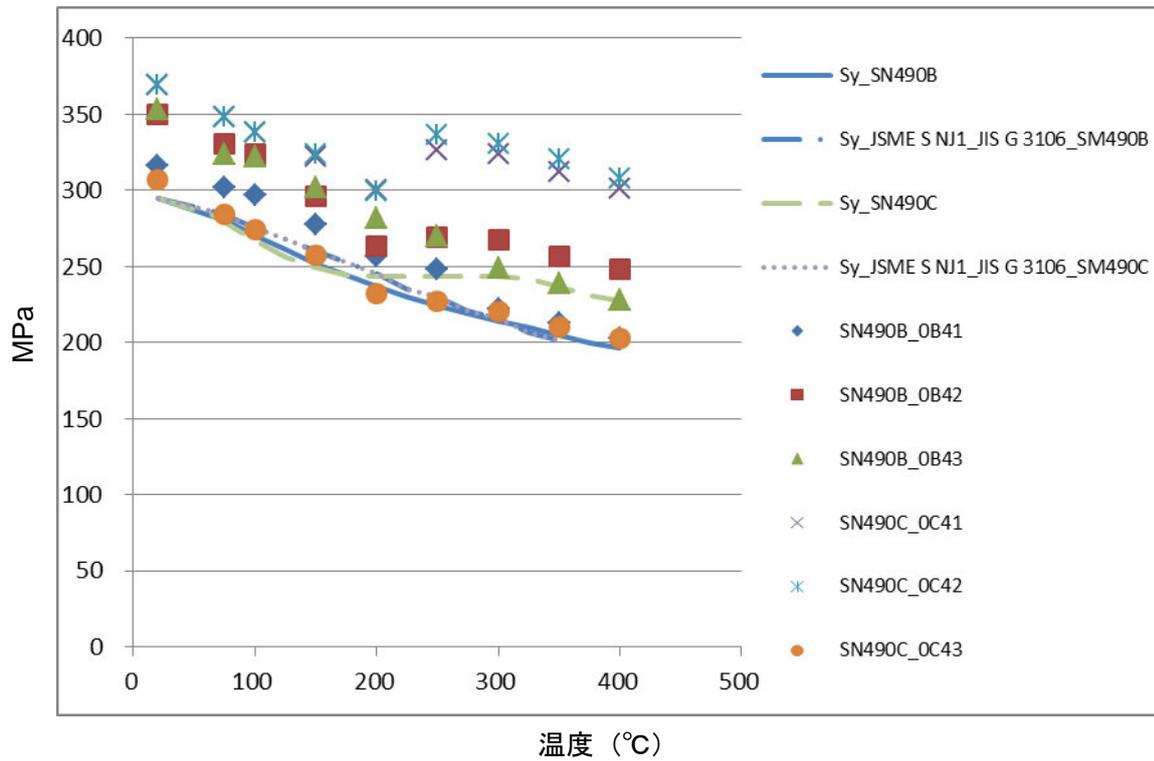


(a) S_y 値の温度依存性

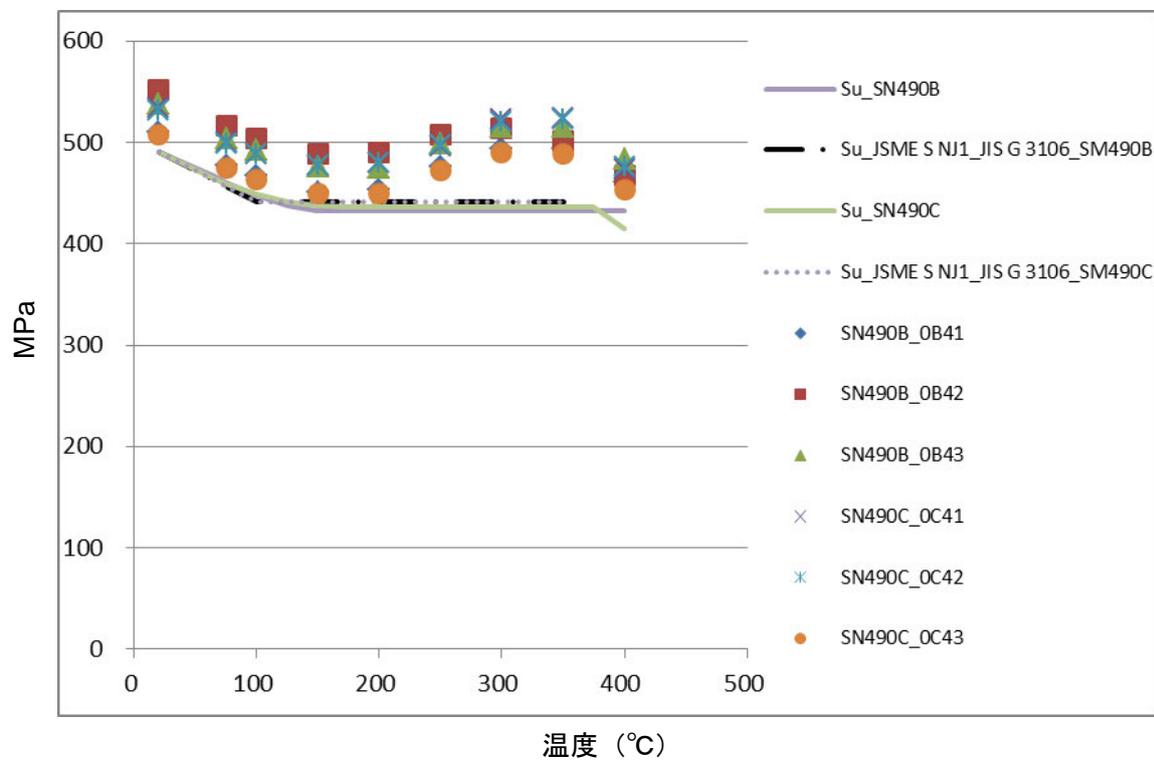


(b) S_u 値の温度依存性

図-3 SN490B および C (板厚 40mm) の S_y 値、 S_u 値の温度依存性



(a) S_y 値の温度依存性



(b) S_u 値の温度依存性

図-4 SN490B および C (板厚 100mm) の S_y 値、 S_u 値の温度依存性

一般財団法人日本機械学会
第9回新材料規格化分科会

御打合わせ資料

- 建築構造用圧延鋼 (SN) 材の設計許容値 [設計降伏点 (S_y), 設計引張強さ (S_u)] の試算結果 (第二報) -

試算条件

基本条件

- 室温 (RT) を, 20 °Cとする.
- B材とC材とを区別せずに, 解析する.
- S_y 算出では, RTの実験データとして下降伏点を, RTを超える温度のデータとして0.2%耐力を採用する.

室温 (RT) における設計許容値

鋼種	板厚 [mm]	降伏点 [MPa]	引張強さ [MPa]
SN400B・C	40	235	400
	100	215	400
SN490B・C	40	325	490
	100	295	490

規準化データの多項式近似における決定係数 (R^2)

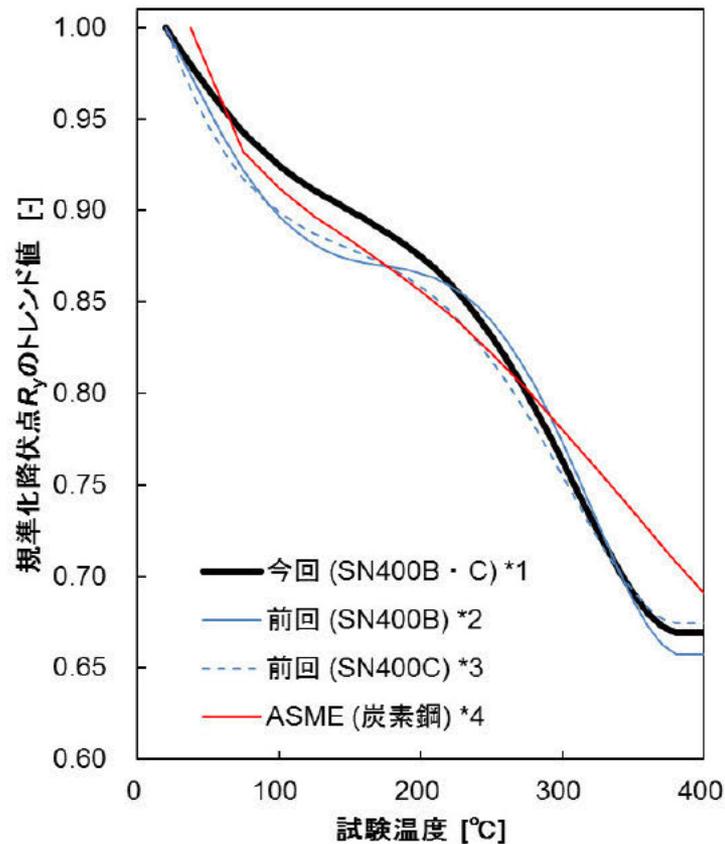
- 表中の太字斜体の R^2 に該当する次数を, 採用した.
- 赤字は, 最終的に得た許容値を下回る実験点が存在するケースを指す.

鋼種	板厚 [mm]	データ種	室温 [°C]	多項式近似次数			
				二次	三次	四次	五次
SN400B・C	40	降伏点	20	0.8509	0.8514	0.8663	0.8676
		引張強さ	20	0.1185	0.6730	0.7247	0.7264
	100	降伏点	20	0.8777	0.8891	0.8902	0.8906
		引張強さ	20	-0.1192	0.4320	0.4320	0.4361
SN490B・C	40	降伏点	20	0.8963	0.9090	0.9090	0.9091
		引張強さ	20	-0.1257	0.4386	0.4390	0.4540
	100	降伏点	20	0.9574	0.9700	0.9718	0.9718
		引張強さ	20	0.1296	0.8021	0.8876	0.8934

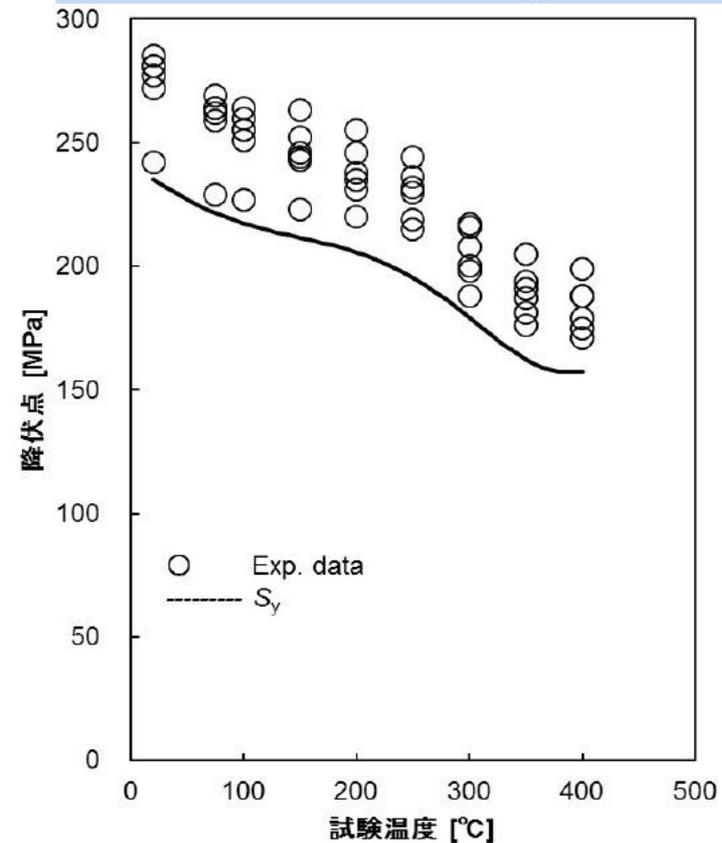
試算結果

SN400B・C (t40 mm) / 降伏点

規準化降伏点 (R_y) トレンドカーブ



設計降伏点 (S_y)



*1 厚さ: 40 mm, RT (= 20 °C): 下降伏点, 75 °C以上: 0.2%耐力

*2 厚さ: 40 mm, RT (= 20 °C) ~200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力

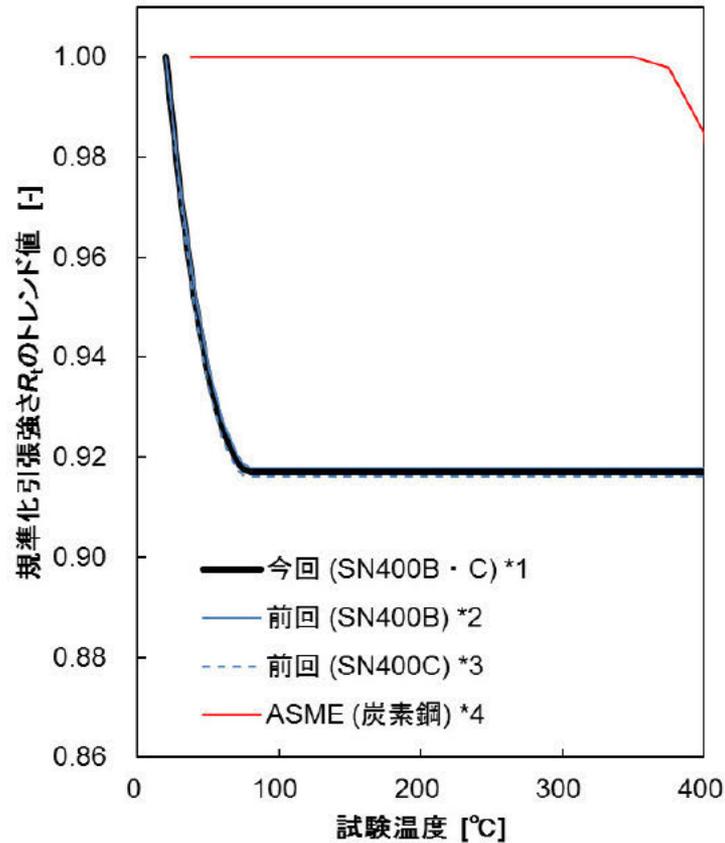
*3 厚さ: 40 mm, RT (= 20 °C) ~200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力

*4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

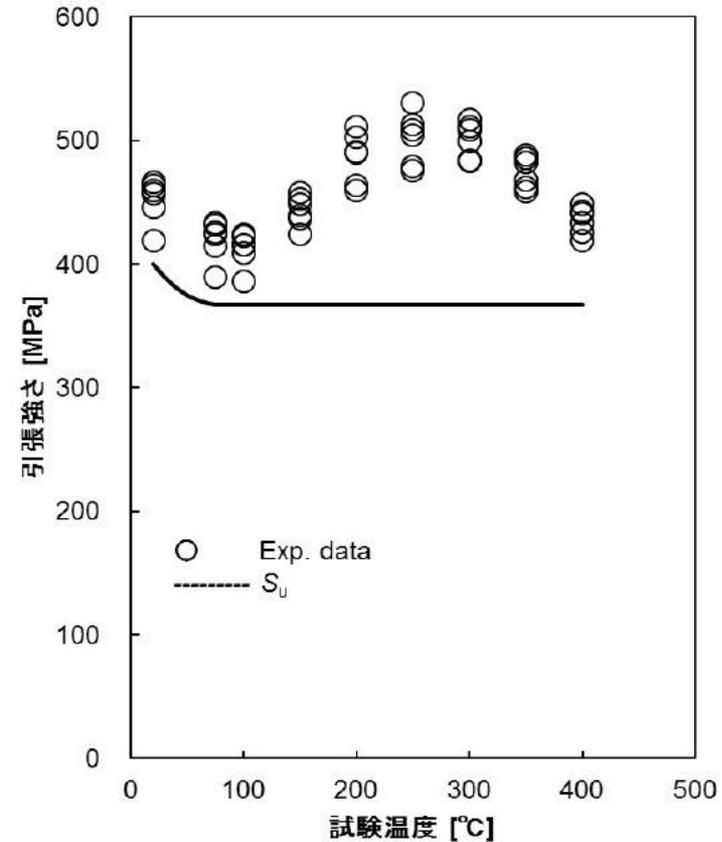
試算結果

SN400B・C (t40 mm) / 引張強さ

規準化引張強さ (R_t) トレンドカーブ



設計引張強さ (S_u)

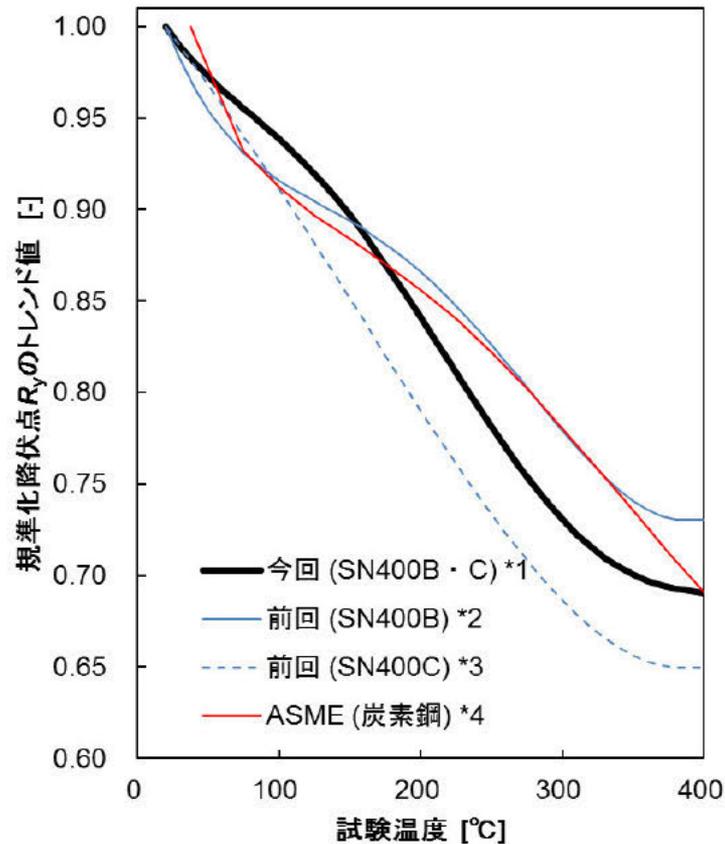


- *1 厚さ: 40 mm, RT = 20 °C
- *2 厚さ: 40 mm, RT = 20 °C
- *3 厚さ: 40 mm, RT = 20 °C
- *4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

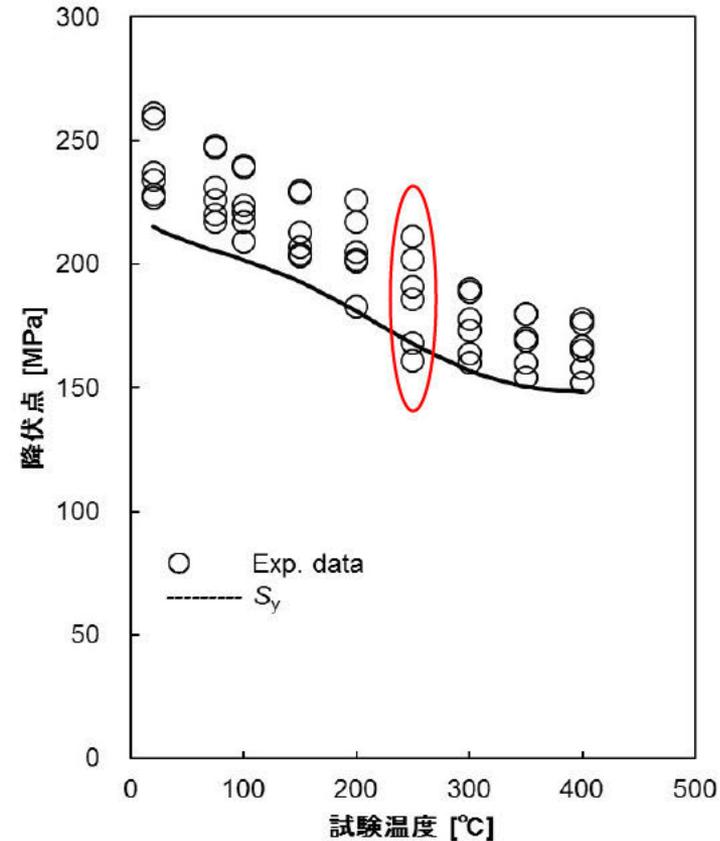
試算結果

SN400B・C (t100 mm) / 降伏点

規準化降伏点 (R_y) トレンドカーブ



設計降伏点 (S_y)

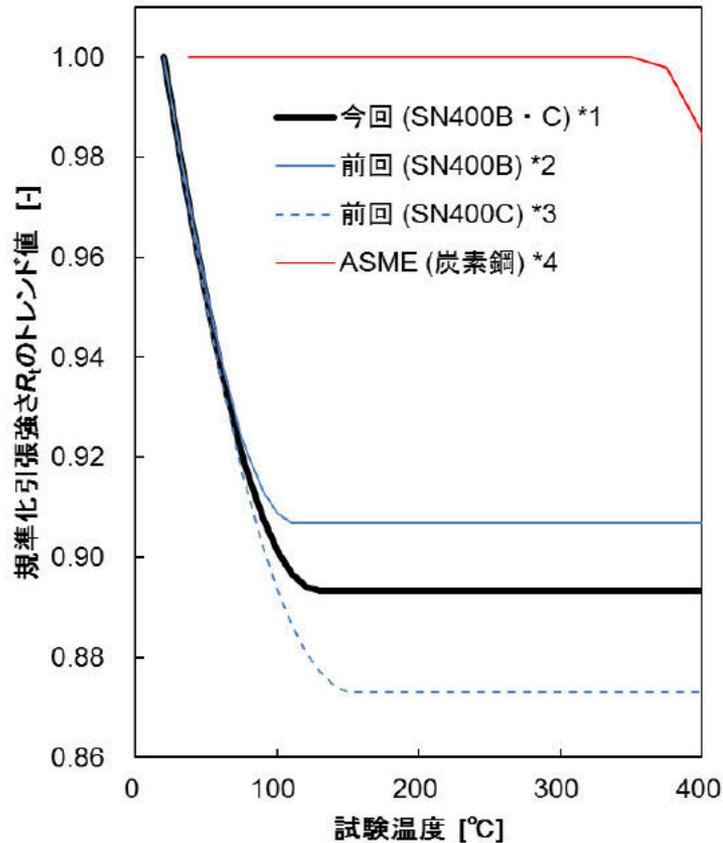


- *1 厚さ: 100 mm, RT (= 20 °C): 下降伏点, 75 °C以上: 0.2%耐力, S_y を下回る実験点あり
- *2 厚さ: 100 mm, RT (= 20 °C) ~ 200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力
- *3 厚さ: 100 mm, RT (= 20 °C) ~ 200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力
- *4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

試算結果

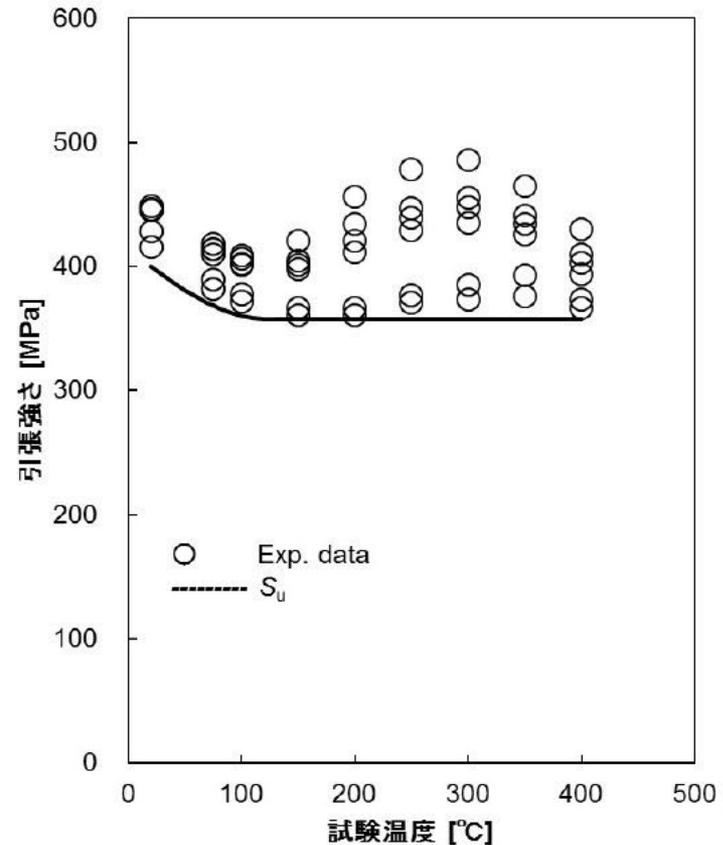
SN400B・C (t100 mm) / 引張強さ

規準化引張強さ (R_t) トレンドカーブ



- *1 厚さ: 100 mm, RT = 20 °C
- *2 厚さ: 100 mm, RT = 20 °C
- *3 厚さ: 100 mm, RT = 20 °C
- *4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

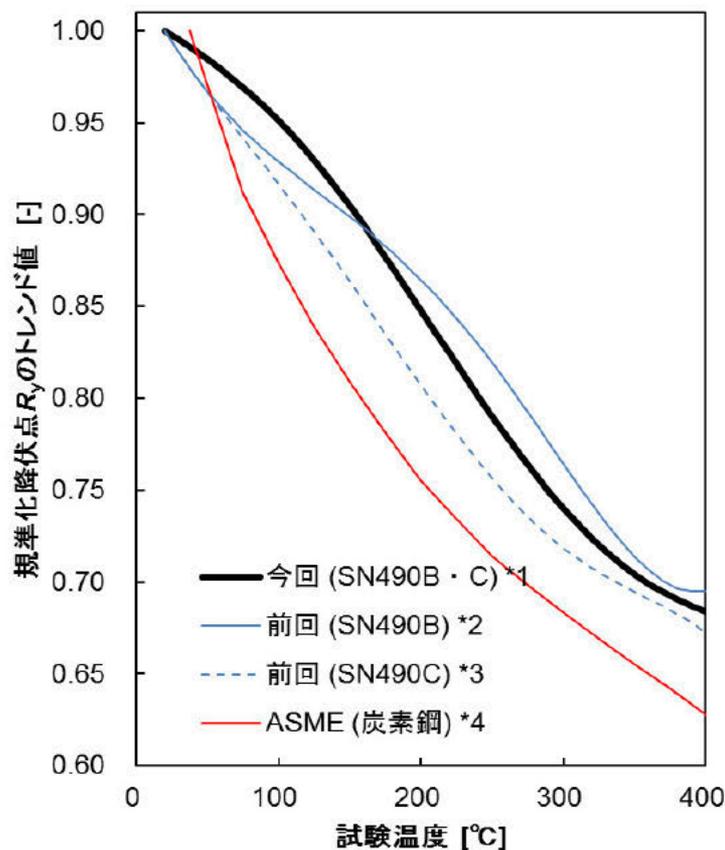
設計引張強さ (S_u)



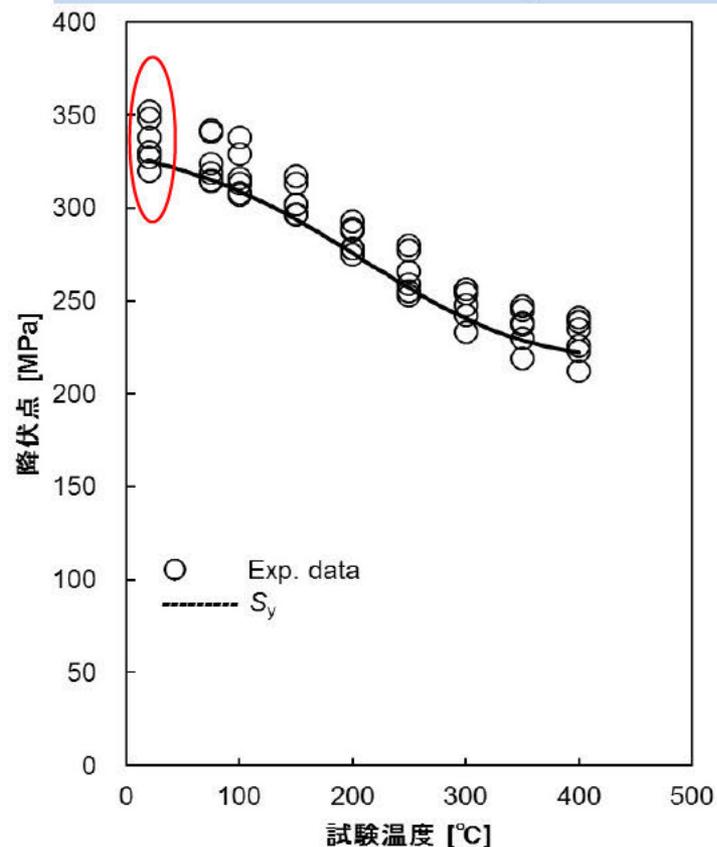
試算結果

SN490B・C (t40 mm) / 降伏点

規準化降伏点 (R_y) トレンドカーブ



設計降伏点 (S_y)

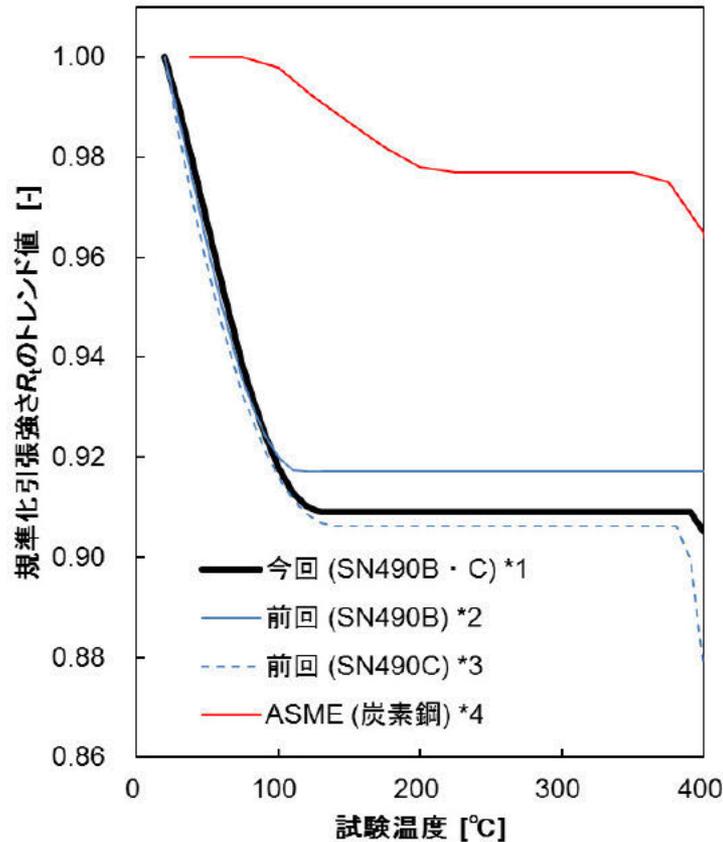


- *1 厚さ: 40 mm, RT (= 20 °C): 下降伏点, 75 °C以上: 0.2%耐力, S_y を下回る実験点あり
- *2 厚さ: 40 mm, RT (= 20 °C) ~200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力, S_y を下回る実験点あり
- *3 厚さ: 40 mm, RT (= 20 °C) ~200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力, S_y を下回る実験点あり
- *4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

試算結果

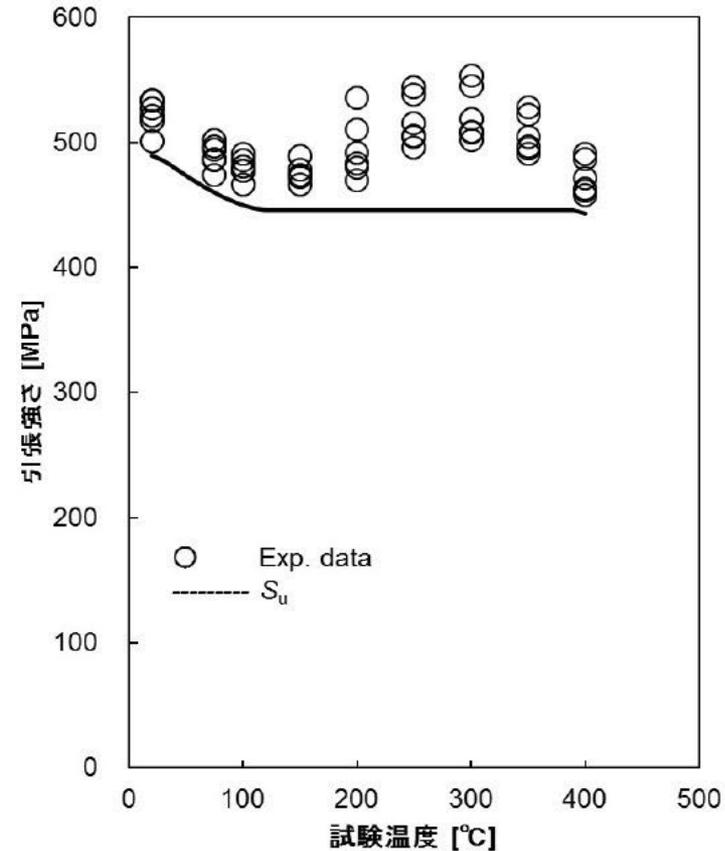
SN490B・C (t40 mm) / 引張強さ

規準化引張強さ (R_t) トレンドカーブ



- *1 厚さ: 40 mm, RT = 20 °C
- *2 厚さ: 40 mm, RT = 20 °C
- *3 厚さ: 40 mm, RT = 20 °C
- *4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

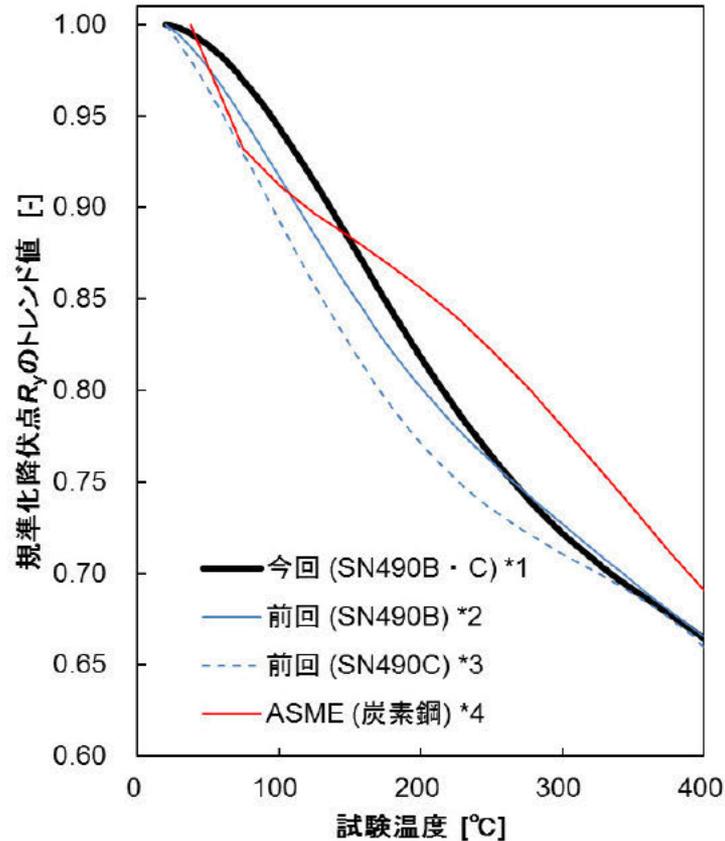
設計引張強さ (S_u)



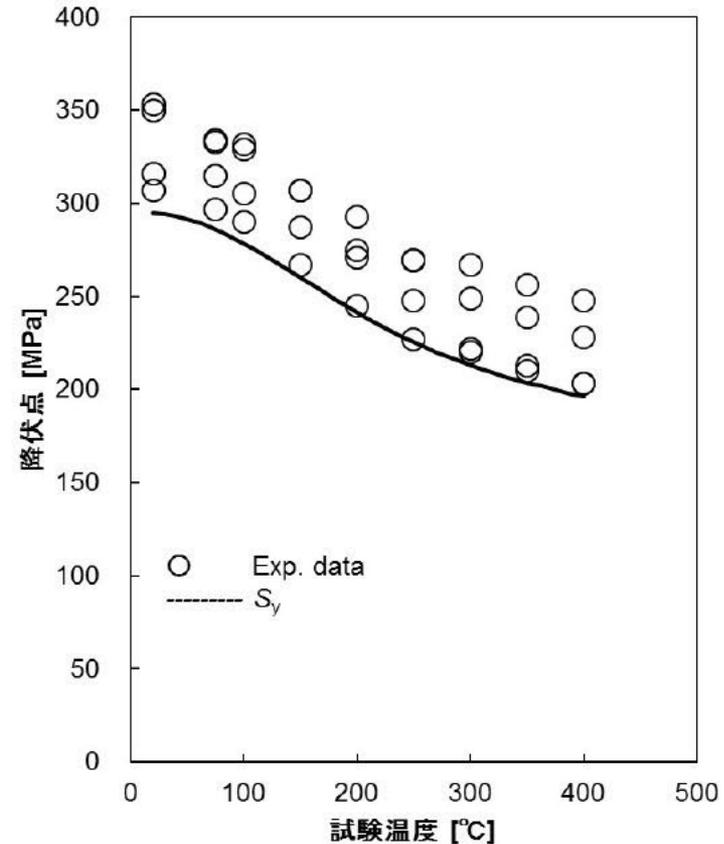
試算結果

SN490B・C (t100 mm) / 降伏点

規準化降伏点 (R_y) トレンドカーブ



設計降伏点 (S_y)



*1 厚さ: 100 mm, RT (= 20 °C): 下降伏点, 75 °C以上: 0.2%耐力

*2 厚さ: 100 mm, RT (= 20 °C) ~200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力

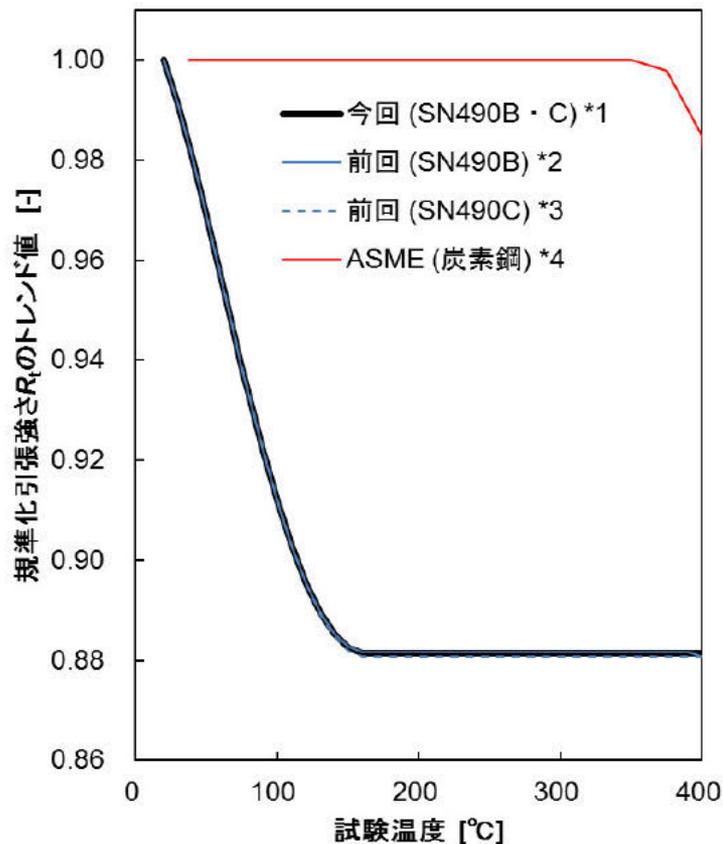
*3 厚さ: 100 mm, RT (= 20 °C) ~200 °C: 下降伏点, 200 °C超: 0.2%耐力

*4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

試算結果

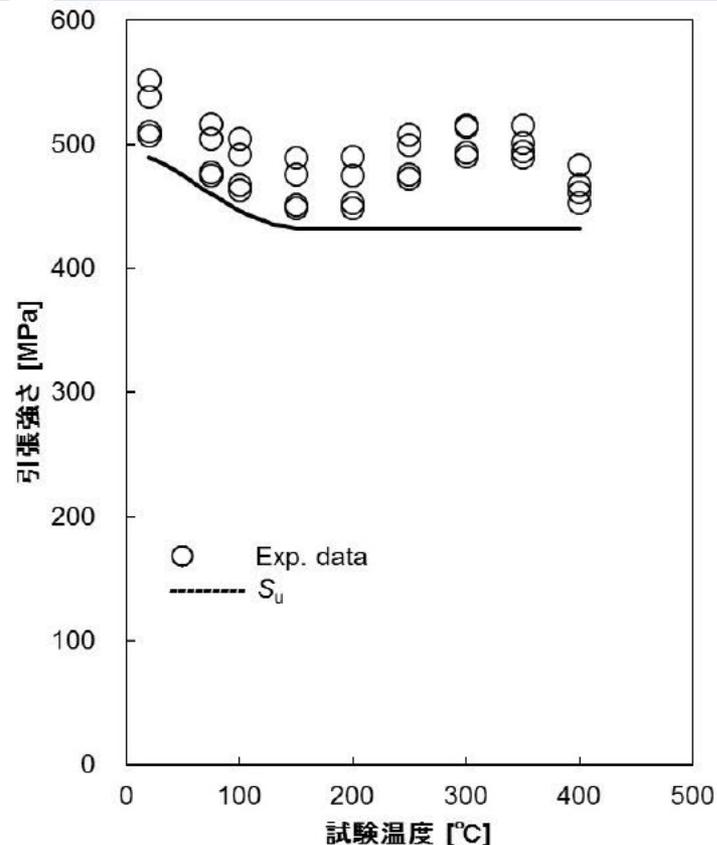
SN490B・C (t100 mm) / 引張強さ

規準化引張強さ (R_t) トレンドカーブ



- *1 厚さ: 100 mm, RT = 20 °C
- *2 厚さ: 100 mm, RT = 20 °C
- *3 厚さ: 100 mm, RT = 20 °C
- *4 JIS B 8267 (2008) 解説表 1

設計引張強さ (S_u)



総 括

- 求めた設計降伏点 (S_y) を下回る実験点がないケースでは、今回の試算による規準化降伏点 (R_y) トレンド値とASME (炭素鋼) のそれとのずれは、最大+/-5%程度であった。
- 求めた設計引張強さ (S_u) を下回る実験点があるケースは、今回の試算ではなかった。今回の試算による規準化引張強さ (R_t) トレンド値は、ASME (炭素鋼) のそれよりも小さく、両者の差は最大12%程度であった。
- 求めた設計許容値を下回る実験点があるケースでは、(A) 「既存のRTの設計許容値(最小値)が解析対象となる実験点に対し高目 (p. 7)」あるいは(B) 「特定の温度での実験点のばらつきが大き目 (p. 5)」である。
- 上述 (A) の場合 (p. 7), 従来RTの最小値と見なされていた値を下回るデータが新たに得られたこととなるため、この原因を調査した上で必要に応じRTの設計許容値を下方修正するべきと考える。
- 上述 (B) (p. 5) では, 青熱ぜい性の影響のばらつきが大きいことが示唆される。影響が極端に大きなデータが含まれると、引張強さに関してはトレンドカーブに影響が表れない (ぜい化温度域でそれよりも低温域に比べ値が高くなるため) が、降伏点に関しては影響が表れる (値が低くなるため)。従って、トレンドカーブをぜい化温度域以上で強制的に修正するべきと考える。

第9回新材料規格化分科会
2015.7.29

SN材の S_y 、 S_u 値解析結果

S_y解析条件

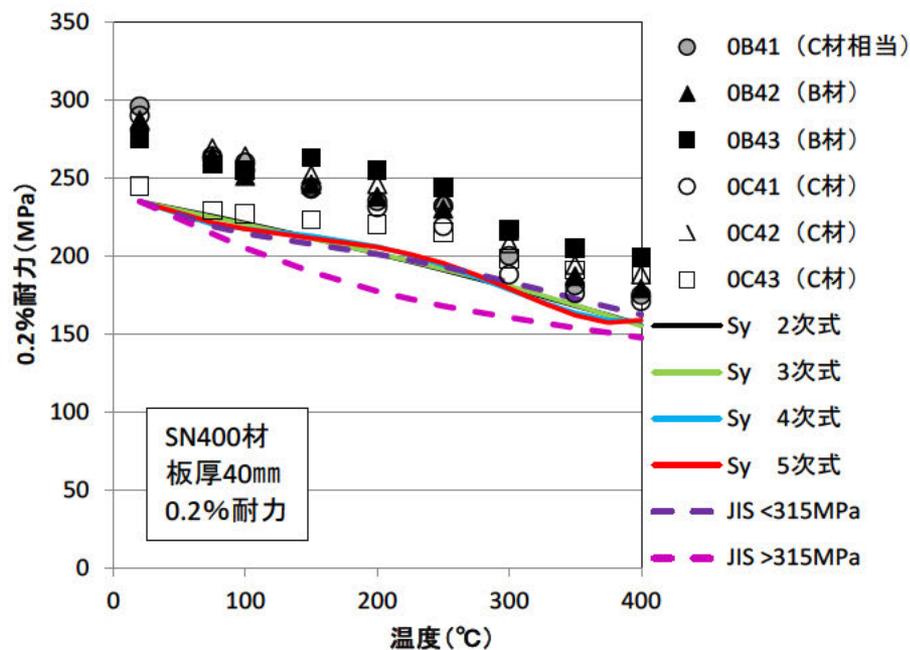
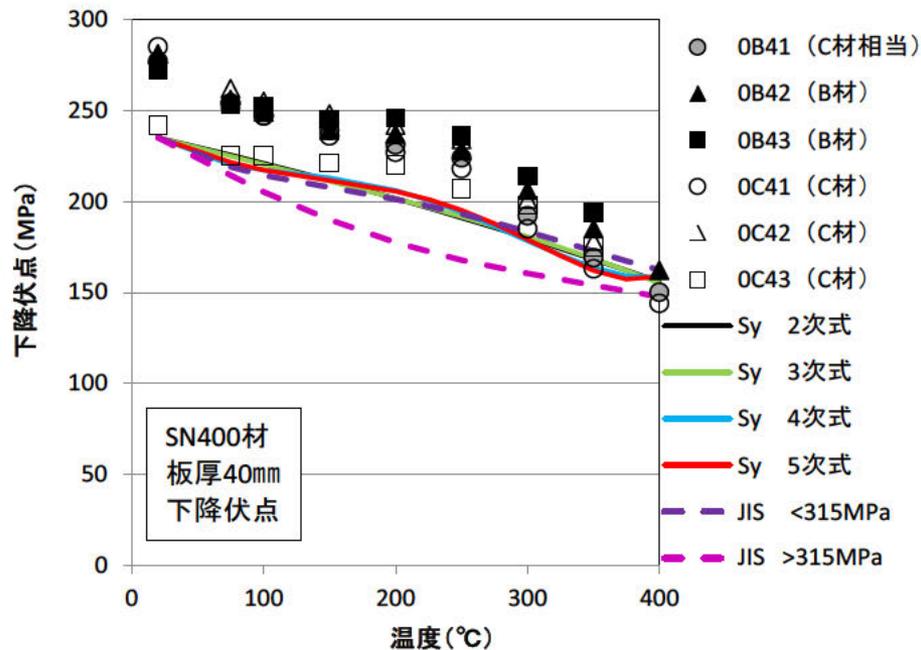
SN材の設計降伏点の解析を実施

解析条件

- ・室温:20℃
- ・回帰分析:温度の2次から5次式
:20℃を1.0とするように回帰
- ・試験データ:B材とC材は区別せず、一緒に解析する。
:室温は、下降伏点。それ以外の高温は0.2%耐力を用いる*。
* 試験データを包絡できないケースは、室温データを0.2%耐力および上降伏点としてケースも参考として実施した。
- ・JIS B8267 炭素鋼のトレンドカーブを使用したケースとの比較も合わせて実施

S_y解析結果 SN400 40mm材 1/2

SN400BとSN400Cを合わせた6ヒート54点で解析



データの包絡可否

	2次式	3次式	4次式	5次式	JIS<315	JIS≥315
下降伏点	×	×	×	○	×	○
0.2%耐力	○	○	○	○	○	○

S_y解析結果 SN400 40mm材 2/2

SN400BとSN400Cを合わせた6ヒート54点で解析

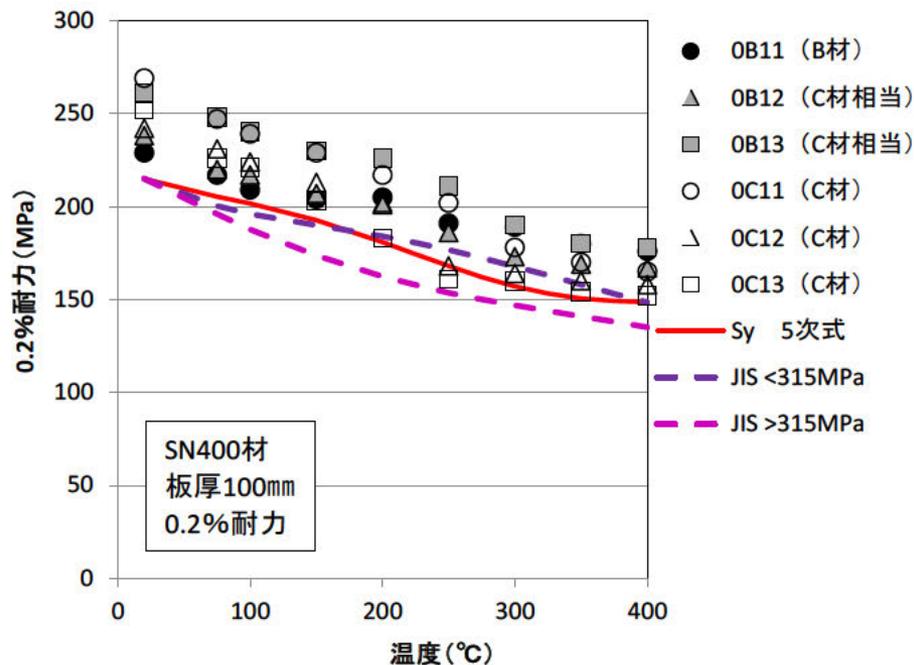
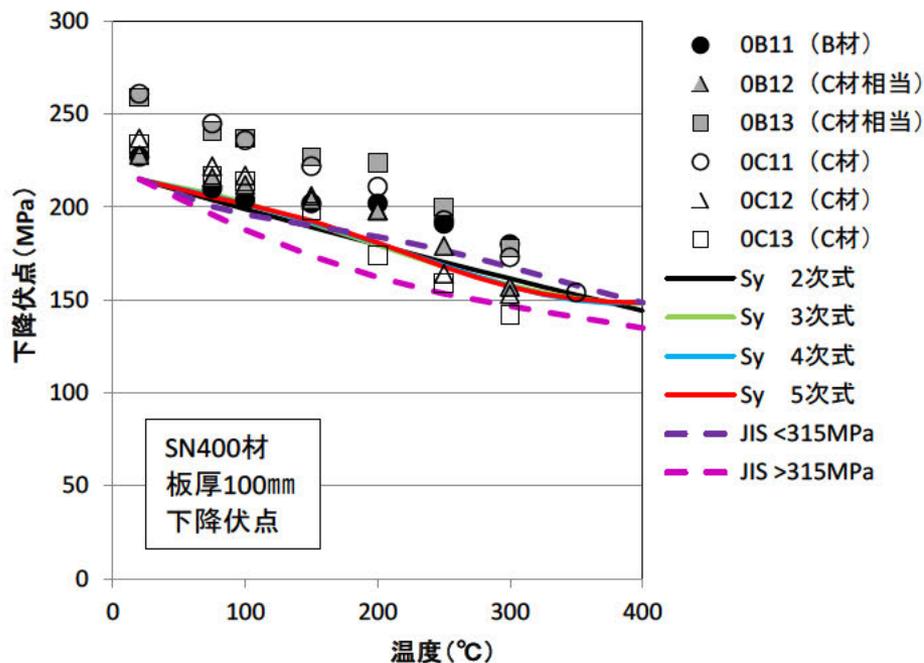
温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.960	0.957	0.937	0.943	0.932	0.912
100	0.941	0.937	0.925	0.925	0.912	0.873
150	0.901	0.898	0.906	0.900	0.884	0.808
200	0.858	0.858	0.877	0.875	0.856	0.755
225	0.836	0.837	0.854	0.856	0.840	0.734
250	0.813	0.815	0.826	0.831	0.822	0.714
275	0.789	0.793	0.793	0.799	0.802	0.698
300	0.765	0.769	0.759	0.762	0.780	0.683
325	0.741	0.744	0.725	0.724	0.758	0.669
350	0.716	0.717	0.696	0.690	0.735	0.655
375	0.690	0.689	0.677	0.669	0.712	0.642
400	0.663	0.660	0.673	0.675	0.691	0.628

			2次	3次	4次	5次
SN400	40mm	R2	0.845	0.842	0.855	0.854
		A0	1.01E+00	1.02E+00	1.04E+00	1.02E+00
		A1	-6.83E-04	-8.17E-04	-2.64E-03	-1.18E-03
		A2	-4.83E-07	4.51E-07	2.18E-05	-2.29E-06
		A3		-1.59E-09	-8.43E-08	6.80E-08
		A4			1.01E-10	-3.07E-10
		A5				3.91E-13

温度 (°C)	S _y (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	235	235	235	235	235	235
75	226	225	220	222	219	214
100	221	220	217	217	214	205
150	212	211	213	211	208	190
200	202	202	206	206	201	177
225	196	197	201	201	197	172
250	191	192	194	195	193	168
275	186	186	186	188	188	164
300	180	181	178	179	183	161
325	174	175	170	170	178	157
350	168	169	164	162	173	154
375	162	162	159	157	167	151
400	156	155	158	159	162	148

S_y解析結果 SN400 100mm材 1/2

SN400BとSN400Cを合わせた6ヒート54点で解析



データの包絡可否

	2次式	3次式	4次式	5次式	JIS<315	JIS≥315
下降伏点	×	×	×	×	×	×
0.2%耐力	×	×	×	×	×	○

S_y解析結果 SN400 100mm材 2/2

SN400BとSN400Cを合わせた6ヒート54点で解析

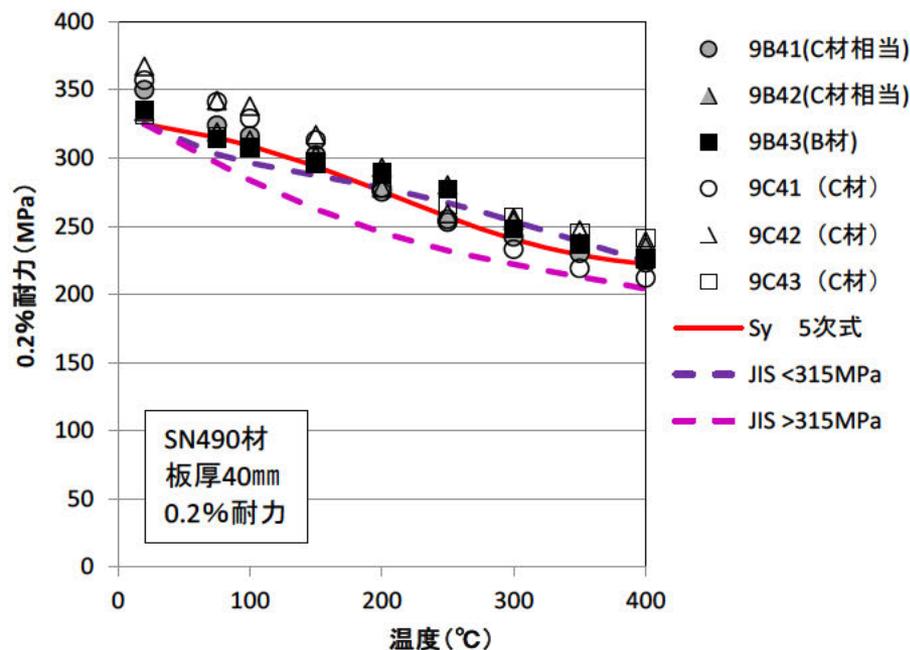
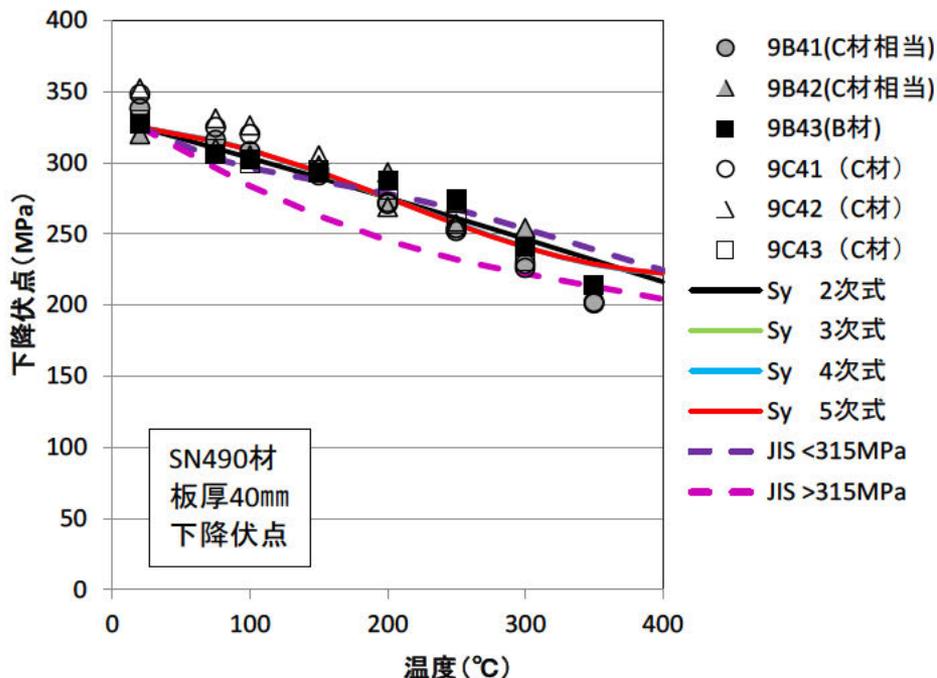
温度 (°C)	S _y (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	215	215	215	215	215	215
75	204	207	206	205	200	196
100	199	202	202	202	196	188
150	189	191	192	193	190	174
200	180	180	181	181	184	162
225	175	174	175	174	181	158
250	171	168	169	168	177	154
275	166	163	163	162	172	150
300	162	158	157	157	168	147
325	157	154	153	153	163	144
350	153	151	150	151	158	141
375	149	149	148	149	153	138
400	144	148	149	149	149	135

			2次	3次	4次	5次
SN400	100mm	R2	0.873	0.882	0.881	0.879
		A0	1.02E+00	1.01E+00	1.02E+00	1.03E+00
		A1	-9.62E-04	-2.99E-04	-7.94E-04	-1.64E-03
		A2	2.33E-07	-4.39E-06	1.42E-06	1.54E-05
		A3		7.85E-09	-1.47E-08	-1.03E-07
		A4			2.76E-11	2.64E-10
		A5				-2.26E-13

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.948	0.964	0.959	0.955	0.932	0.912
100	0.925	0.942	0.938	0.938	0.912	0.873
150	0.880	0.891	0.893	0.896	0.884	0.808
200	0.836	0.835	0.840	0.841	0.856	0.755
225	0.814	0.808	0.812	0.811	0.840	0.734
250	0.793	0.781	0.784	0.781	0.822	0.714
275	0.772	0.757	0.757	0.754	0.802	0.698
300	0.751	0.735	0.733	0.731	0.780	0.683
325	0.731	0.717	0.712	0.713	0.758	0.669
350	0.711	0.702	0.697	0.700	0.735	0.655
375	0.691	0.693	0.689	0.694	0.712	0.642
400	0.671	0.689	0.692	0.691	0.691	0.628

S_y解析結果 SN490 40mm材 1/2

SN490BとSN490Cを合わせた6ヒート54点で解析



データの包絡可否

	2次式	3次式	4次式	5次式	JIS<315	JIS≥315
下降伏点	×	×	×	×	×	×
0.2%耐力	×	×	×	×	×	○

S_y解析結果 SN490 40mm材 2/2

SN490BとSN490Cを合わせた6ヒート54点で解析

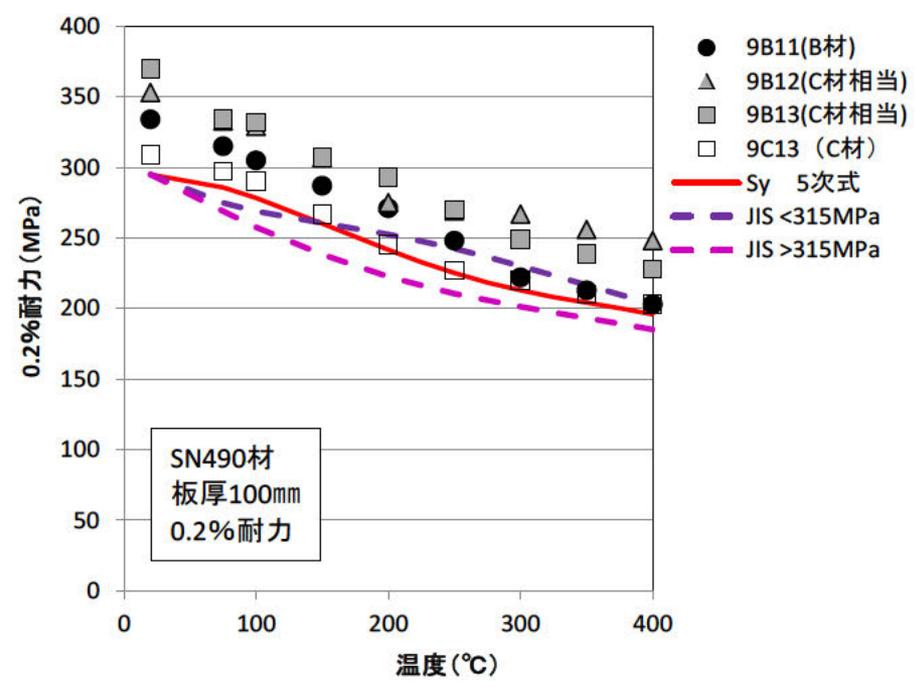
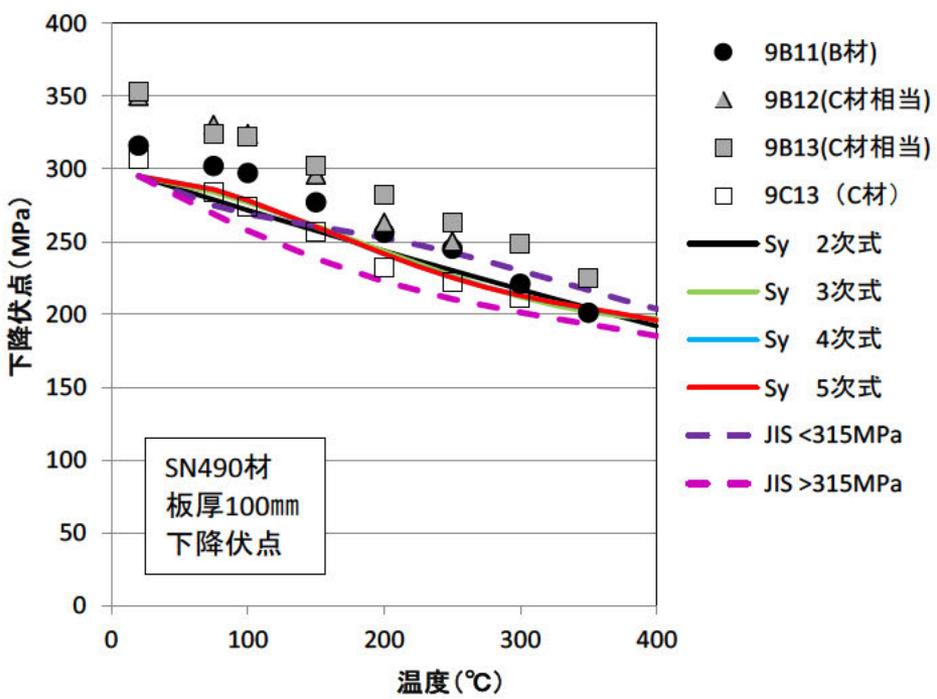
温度 (°C)	S _y (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	325	325	325	325	325	325
75	310	316	315	315	303	296
100	303	309	309	309	296	284
150	290	293	293	294	287	263
200	276	275	275	276	278	245
225	268	266	266	266	273	239
250	261	257	257	257	267	232
275	254	249	249	248	261	227
300	246	241	241	240	254	222
325	239	234	234	234	246	217
350	232	229	228	229	239	213
375	224	225	224	225	231	209
400	216	222	222	222	225	204

			2次	3次	4次	5次
SN490	40mm	R2	0.892	0.904	0.902	0.900
		A0	1.02E+00	1.00E+00	1.01E+00	1.01E+00
		A1	-8.08E-04	-1.01E-04	-1.69E-04	-5.22E-04
		A2	-1.71E-07	-5.10E-06	-4.30E-06	1.52E-06
		A3		8.37E-09	5.28E-09	-3.15E-08
		A4			3.78E-12	1.02E-10
		A5				-9.44E-14

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.955	0.971	0.971	0.969	0.932	0.912
100	0.934	0.951	0.951	0.951	0.912	0.873
150	0.891	0.902	0.903	0.904	0.884	0.808
200	0.848	0.847	0.848	0.848	0.856	0.755
225	0.826	0.819	0.819	0.819	0.840	0.734
250	0.803	0.791	0.791	0.790	0.822	0.714
275	0.781	0.765	0.765	0.764	0.802	0.698
300	0.758	0.741	0.741	0.740	0.780	0.683
325	0.735	0.720	0.720	0.720	0.758	0.669
350	0.712	0.703	0.702	0.704	0.735	0.655
375	0.689	0.691	0.690	0.692	0.712	0.642
400	0.665	0.684	0.684	0.684	0.691	0.628

S_y解析結果 SN490 100mm材 1/2

SN490BとSN490Cを合わせた4ヒート36点で解析
(TMCP材2ヒートは除外した)



データの包絡可否

	2次式	3次式	4次式	5次式	JIS<315	JIS≥315
下降伏点	×	×	×	×	×	○
0.2%耐力	×	○	○	○	×	○

S_y解析結果 SN490 100mm材 2/2

SN490BとSN490Cを合わせた4ヒート36点で解析
(TMCP材2ヒートは除外した)

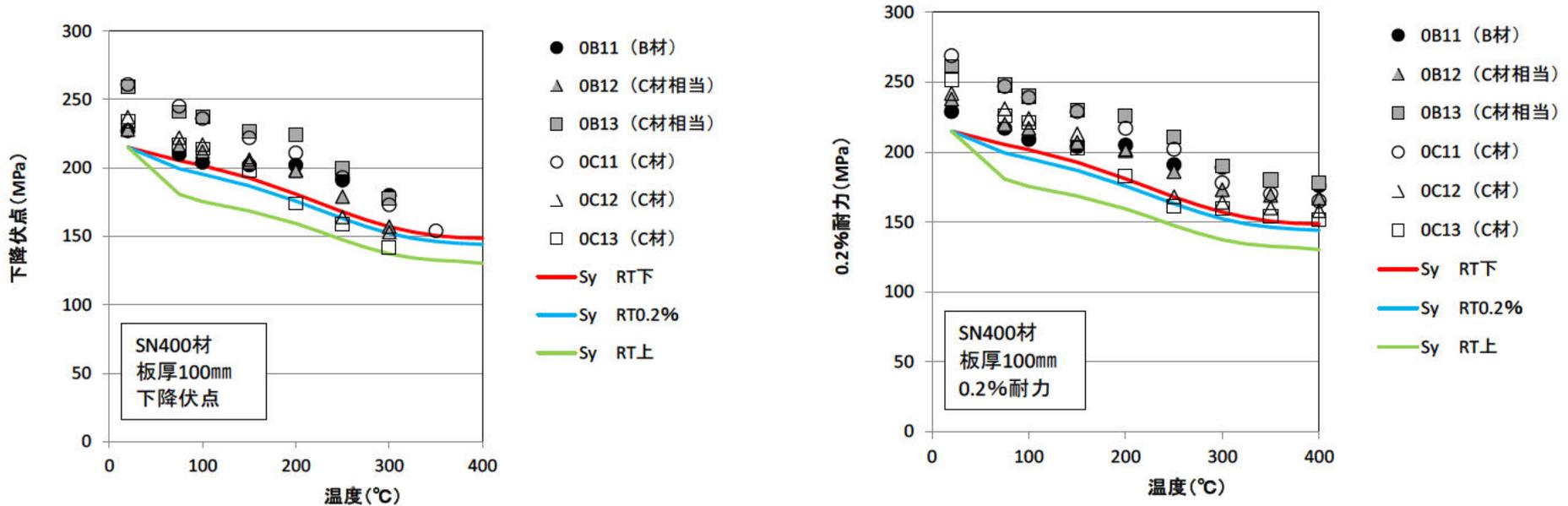
温度 (°C)	S _y (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	295	295	295	295	295	295
75	279	284	286	286	275	269
100	272	277	278	278	269	258
150	258	261	260	260	261	238
200	244	243	241	242	253	223
225	237	235	233	233	248	217
250	230	227	225	225	242	211
275	224	219	219	219	237	206
300	217	212	213	213	230	201
325	211	206	208	208	224	197
350	204	202	204	204	217	193
375	198	199	200	200	210	189
400	192	198	196	196	204	185

SN490	100mm		2次	3次	4次	5次
		R2	0.955	0.967	0.968	0.967
A0	1.02E+00	1.01E+00	9.97E-01	1.00E+00		
A1	-1.02E-03	-2.97E-04	3.62E-04	1.85E-04		
A2	2.34E-07	-4.78E-06	-1.25E-05	-9.59E-06		
A3		8.52E-09	3.85E-08	2.00E-08		
A4			-3.66E-11	1.28E-11		
A5				-4.73E-14		

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.945	0.962	0.969	0.969	0.932	0.912
100	0.921	0.939	0.943	0.943	0.912	0.873
150	0.873	0.884	0.882	0.882	0.884	0.808
200	0.826	0.825	0.819	0.819	0.856	0.755
225	0.803	0.796	0.790	0.790	0.840	0.734
250	0.781	0.768	0.764	0.763	0.822	0.714
275	0.758	0.742	0.741	0.741	0.802	0.698
300	0.736	0.719	0.722	0.722	0.780	0.683
325	0.714	0.699	0.706	0.706	0.758	0.669
350	0.693	0.684	0.691	0.692	0.735	0.655
375	0.672	0.674	0.678	0.679	0.712	0.642
400	0.651	0.670	0.665	0.664	0.691	0.628

【参考】 S_y 解析結果 SN400 100mm材 11

SN400BとSN400Cを合わせた6ヒート54点で解析



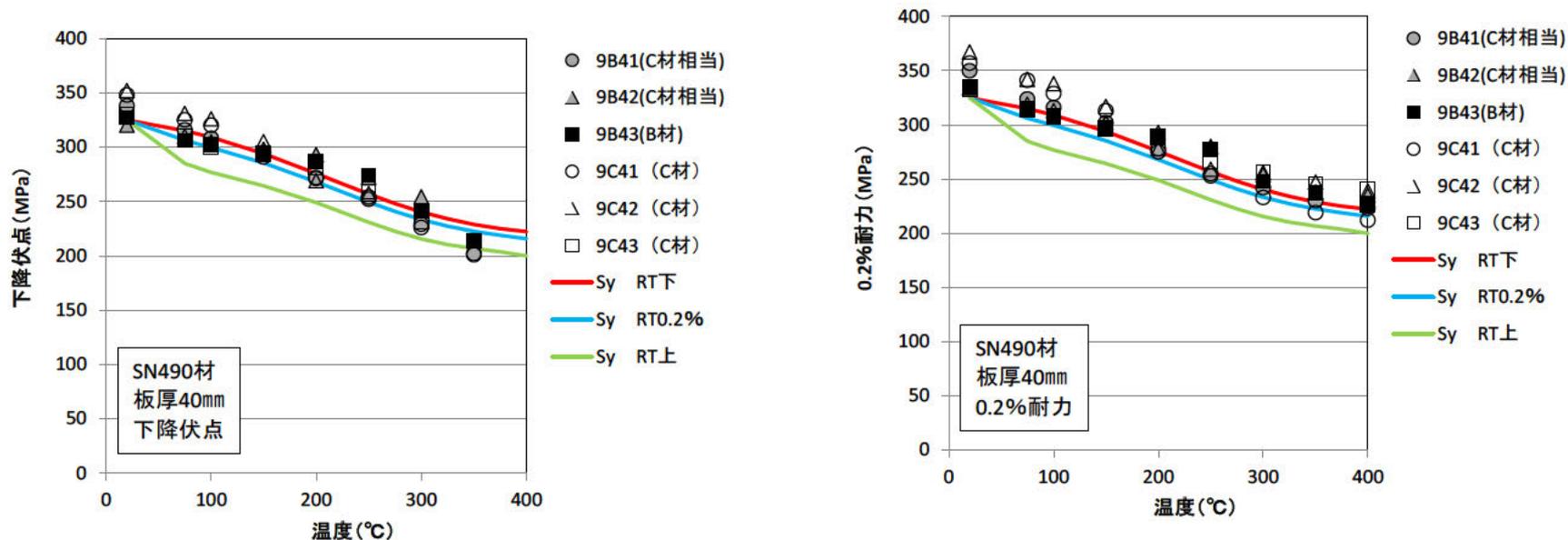
- RT下: 室温は下降伏点、室温以外は0.2%耐力で計算(5次式回帰)
- RT0.2%: 室温データ含めてすべて0.2%耐力で計算(5次式回帰)
- RT上: 室温は上降伏点、室温以外は0.2%耐力で計算(5次式回帰)

室温は上降伏点、室温以外は0.2%耐力で計算すると、全データを包絡できる

【参考】 S_y 解析結果 SN490 40mm材

12

SN490BとSN490Cを合わせた6ヒート54点で解析



RT下: 室温は下降伏点、室温以外は0.2%耐力で計算(5次式回帰)

RT0.2%: 室温データ含めてすべて0.2%耐力で計算(5次式回帰)

RT上: 室温は上降伏点、室温以外は0.2%耐力で計算(5次式回帰)

室温は上降伏点、室温以外は0.2%耐力で計算すると、室温および350℃の下降伏点以外は、データを包絡できる。

S_y解析結果 トレンドカーブまとめ

温度	SN400 40mm			SN400 100mm					SN490 40mm					SN490 100mm		
	235MPa		JIS B8267	215MPa			JIS B8267		325MPa			JIS B8267		295MPa	JIS B8267	
	下/0.2%	<315MPa	>315MPa	下/0.2%	全0.2%	上/0.2%	<315MPa	>315MPa	下/0.2%	全0.2%	上/0.2%	<315MPa	>315MPa	下/0.2%	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.943	0.932	0.912	0.955	0.928	0.841	0.932	0.912	0.969	0.942	0.876	0.932	0.912	0.969	0.932	0.912
100	0.925	0.912	0.873	0.938	0.909	0.816	0.912	0.873	0.951	0.922	0.852	0.912	0.873	0.943	0.912	0.873
150	0.900	0.884	0.808	0.896	0.870	0.784	0.884	0.808	0.904	0.878	0.813	0.884	0.808	0.882	0.884	0.808
200	0.875	0.856	0.755	0.841	0.817	0.742	0.856	0.755	0.848	0.825	0.766	0.856	0.755	0.819	0.856	0.755
225	0.856	0.840	0.734	0.811	0.788	0.714	0.840	0.734	0.819	0.796	0.738	0.840	0.734	0.790	0.840	0.734
250	0.831	0.822	0.714	0.781	0.759	0.686	0.822	0.714	0.790	0.767	0.711	0.822	0.714	0.763	0.822	0.714
275	0.799	0.802	0.698	0.754	0.731	0.660	0.802	0.698	0.764	0.741	0.685	0.802	0.698	0.741	0.802	0.698
300	0.762	0.780	0.683	0.731	0.709	0.639	0.780	0.683	0.740	0.718	0.663	0.780	0.683	0.722	0.780	0.683
325	0.724	0.758	0.669	0.713	0.691	0.625	0.758	0.669	0.720	0.699	0.647	0.758	0.669	0.706	0.758	0.669
350	0.690	0.735	0.665	0.700	0.680	0.617	0.735	0.665	0.704	0.684	0.636	0.735	0.665	0.692	0.735	0.665
375	0.669	0.712	0.642	0.694	0.674	0.613	0.712	0.642	0.692	0.673	0.627	0.712	0.642	0.679	0.712	0.642
400	0.675	0.691	0.628	0.691	0.671	0.606	0.691	0.628	0.684	0.664	0.615	0.691	0.628	0.664	0.691	0.628
データ包絡 下降伏点	○	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○
データ包絡 0.2%耐力	○	○	○	×	×	○	×	○	×	×	○	×	○	○	×	○

下/0.2%:室温は下降伏点、室温以外は0.2%耐力のデータを使用(5次式回帰)

全0.2% :全温度0.2%耐力のデータを使用(5次式回帰)

上/0.2%:室温は上降伏点、室温以外は0.2%耐力のデータを使用(5次式回帰)

S_u解析条件

SN材の設計引張強さの解析を実施

解析条件

- **室温: 20°C**
- **回帰分析: 温度の2次から5次式**
: 20°Cを1.0とするように回帰
- **試験データ: B材とC材は区別せず、一緒に解析する。**
- **JIS B8267 炭素鋼のトレンドカーブを使用したケースとの比較も合わせて実施**

※JISに規定されている室温引張強さは、40mmも100mmも同一の値のため、40mm材と100mm材を区別せずに解析したケースも参考として実施した。

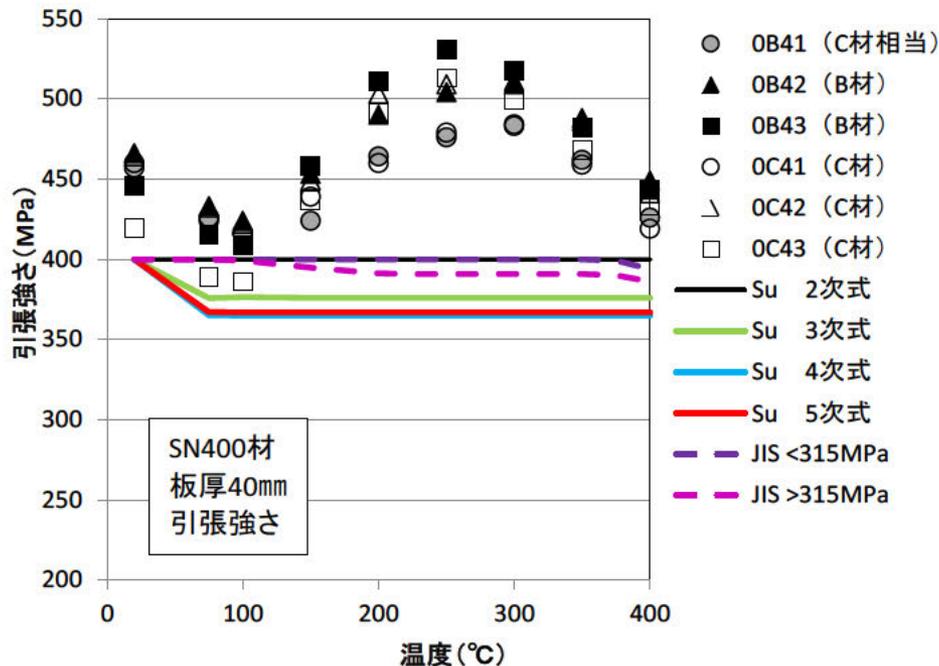
S_u解析結果 SN400 40mm材

SN400BとSN400Cを合わせた6ヒート54点で解析

		2次	3次	4次	5次	
SN490	40mm	R2	0.084	0.653	0.702	0.698
		A0	9.93E-01	1.05E+00	1.09E+00	1.07E+00
		A1	3.69E-04	-2.92E-03	-5.36E-03	-4.18E-03
		A2	-6.85E-07	2.22E-05	5.08E-05	3.14E-05
		A3		-3.89E-08	-1.50E-07	-2.68E-08
		A4			1.36E-10	-1.94E-10
		A5				3.16E-13

温度 (°C)	Su (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	400	400	400	400	400	400
75	400	376	365	367	400	400
100	400	376	365	367	400	399
150	400	376	365	367	400	395
200	400	376	365	367	400	391
225	400	376	365	367	400	391
250	400	376	365	367	400	391
275	400	376	365	367	400	391
300	400	376	365	367	400	391
325	400	376	365	367	400	391
350	400	376	365	367	400	391
375	400	376	365	367	399	390
400	400	376	365	367	394	386

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	1.017	0.939	0.913	0.918	1.000	1.000
100	1.023	0.941	0.924	0.924	1.000	0.998
150	1.033	0.980	0.991	0.986	1.000	0.987
200	1.039	1.043	1.068	1.066	1.000	0.978
225	1.041	1.074	1.097	1.098	1.000	0.977
250	1.042	1.100	1.114	1.118	1.000	0.977
275	1.043	1.117	1.118	1.123	1.000	0.977
300	1.042	1.122	1.109	1.112	1.000	0.977
325	1.041	1.111	1.086	1.085	1.000	0.977
350	1.038	1.080	1.052	1.047	1.000	0.977
375	1.035	1.026	1.009	1.003	0.998	0.975
400	1.031	0.945	0.963	0.965	0.985	0.965



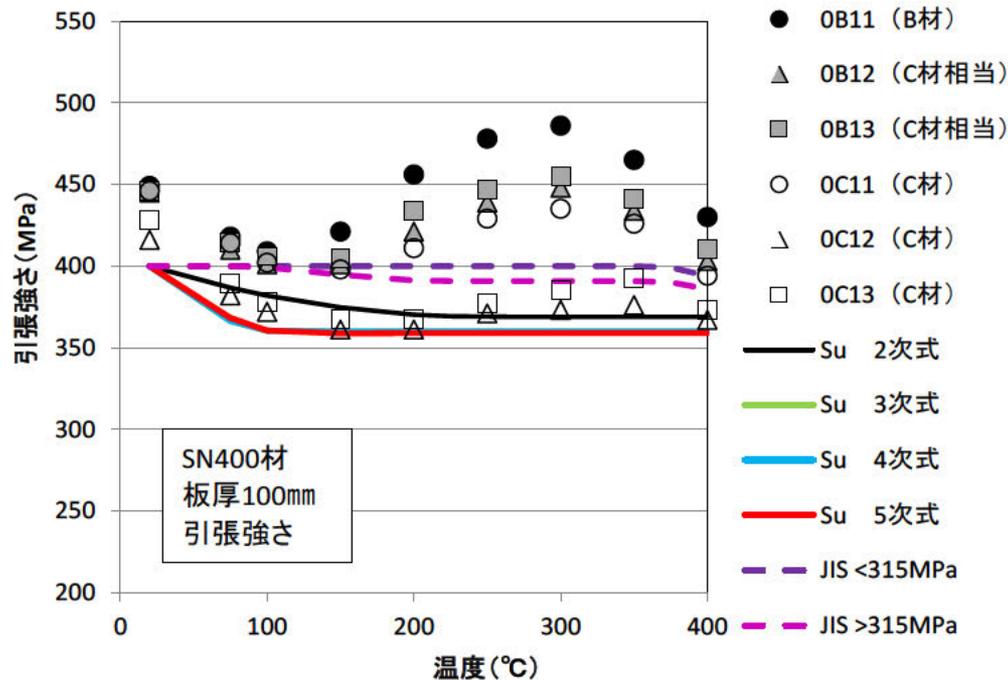
S_u解析結果 SN400 100mm材

SN400BとSN400Cを合わせた6ヒート54点で解析

		2次	3次	4次	5次	
SN490	40mm	R2	-0.163	0.398	0.386	0.377
		A0	1.01E+00	1.05E+00	1.05E+00	1.03E+00
		A1	-7.44E-04	-2.91E-03	-2.90E-03	-1.70E-03
		A2	1.51E-06	1.66E-05	1.65E-05	-3.28E-06
		A3		-2.56E-08	-2.53E-08	9.97E-08
		A4			-3.85E-13	-3.36E-10
		A5				3.21E-13

温度 (°C)	Su (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	400	400	400	400	400	400
75	387	366	366	368	400	400
100	382	360	360	360	400	399
150	375	360	360	359	400	395
200	370	360	360	359	400	391
225	369	360	360	359	400	391
250	369	360	360	359	400	391
275	369	360	360	359	400	391
300	369	360	360	359	400	391
325	369	360	360	359	400	391
350	369	360	360	359	400	391
375	369	360	360	359	399	390
400	369	360	360	359	394	386

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.967	0.916	0.916	0.921	1.000	1.000
100	0.955	0.901	0.901	0.901	1.000	0.998
150	0.937	0.902	0.902	0.897	1.000	0.987
200	0.926	0.928	0.928	0.927	1.000	0.978
225	0.923	0.945	0.945	0.947	1.000	0.977
250	0.923	0.961	0.960	0.965	1.000	0.977
275	0.924	0.973	0.973	0.978	1.000	0.977
300	0.927	0.980	0.980	0.983	1.000	0.977
325	0.932	0.978	0.978	0.977	1.000	0.977
350	0.939	0.967	0.967	0.961	1.000	0.977
375	0.948	0.942	0.942	0.936	0.998	0.975
400	0.958	0.902	0.902	0.904	0.985	0.965



ぎりぎり全データを包絡。
 SN400C(100mm)の2ヒートは、他のヒートの傾向と異なる引張強さの温度依存性を示しており、且つ強度が低い。

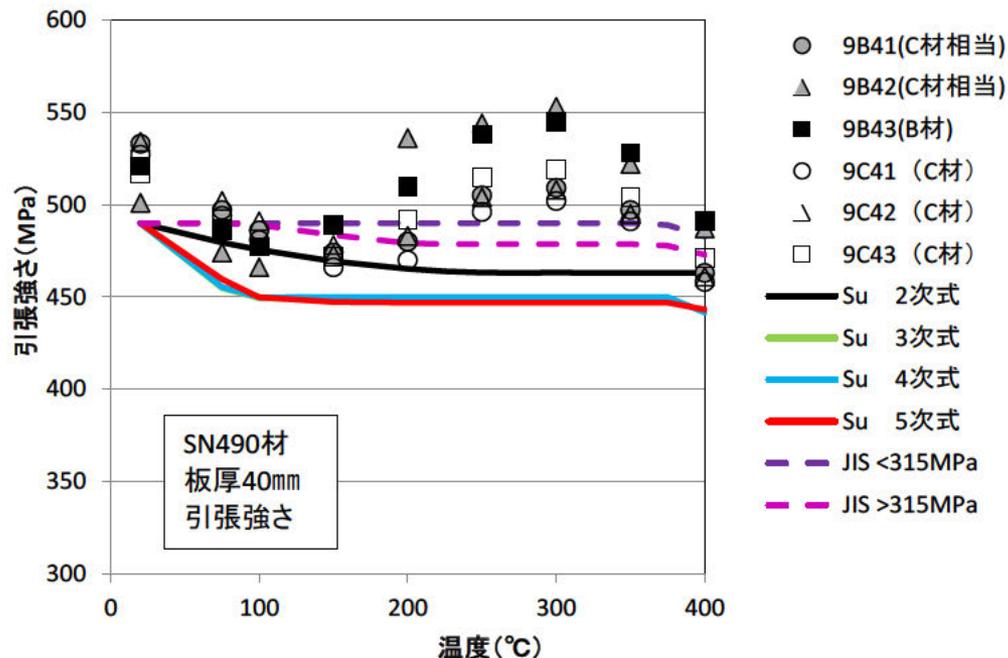
S_u解析結果 SN490 40mm材

SN490BとSN490Cを合わせた6ヒート54点で解析

		2次	3次	4次	5次	
SN490	40mm	R2	-0.170	0.405	0.393	0.397
		A0	1.01E+00	1.05E+00	1.04E+00	1.01E+00
		A1	-4.69E-04	-2.63E-03	-2.48E-03	-2.30E-04
		A2	8.57E-07	1.59E-05	1.41E-05	-2.29E-05
		A3		-2.55E-08	-1.88E-08	2.15E-07
		A4			-8.28E-12	-6.36E-10
	A5				6.01E-13	

温度 (°C)	Su (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	490	490	490	490	490	490
75	480	455	455	460	490	490
100	476	449	450	450	490	489
150	469	449	450	447	490	484
200	465	449	450	447	490	479
225	464	449	450	447	490	479
250	463	449	450	447	490	479
275	463	449	450	447	490	479
300	463	449	450	447	490	479
325	463	449	450	447	490	479
350	463	449	450	447	490	479
375	463	449	450	447	489	478
400	463	442	442	443	483	473

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.979	0.928	0.930	0.938	1.000	1.000
100	0.971	0.917	0.918	0.918	1.000	0.998
150	0.958	0.923	0.923	0.913	1.000	0.987
200	0.950	0.952	0.950	0.948	1.000	0.978
225	0.947	0.968	0.967	0.971	1.000	0.977
250	0.945	0.983	0.982	0.990	1.000	0.977
275	0.945	0.994	0.994	1.003	1.000	0.977
300	0.945	0.998	0.999	1.004	1.000	0.977
325	0.947	0.993	0.995	0.993	1.000	0.977
350	0.950	0.978	0.979	0.969	1.000	0.977
375	0.954	0.948	0.949	0.937	0.998	0.975
400	0.959	0.902	0.901	0.905	0.985	0.965



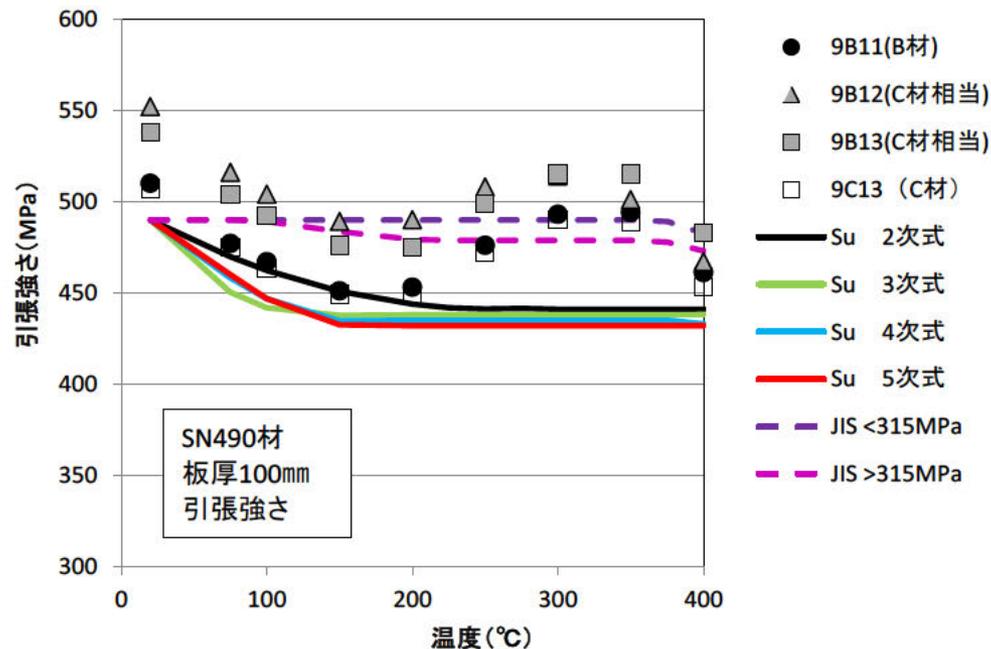
S_u解析結果 SN490 100mm材

SN490BとSN490Cを合わせた4ヒート36点で解析
(TMCP材2ヒートは除外した)

		2次	3次	4次	5次	
SN490	40mm	R2	0.077	0.784	0.873	0.876
		A0	1.02E+00	1.05E+00	1.02E+00	1.01E+00
		A1	-9.22E-04	-2.61E-03	-1.15E-03	-1.43E-04
		A2	1.81E-06	1.35E-05	-3.59E-06	-2.01E-05
		A3		-1.99E-08	4.64E-08	1.51E-07
		A4			-8.12E-11	-3.62E-10
		A5				2.68E-13

温度 (°C)	Su (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	490	490	490	490	490	490
75	470	450	458	460	490	490
100	462	442	447	447	490	489
150	451	438	435	432	490	484
200	444	438	435	432	490	479
225	442	438	435	432	490	479
250	441	438	435	432	490	479
275	441	438	435	432	490	479
300	441	438	435	432	490	479
325	441	438	435	432	490	479
350	441	438	435	432	490	479
375	441	438	435	432	489	478
400	441	438	433	432	483	473

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.959	0.919	0.935	0.939	1.000	1.000
100	0.944	0.902	0.912	0.912	1.000	0.998
150	0.920	0.893	0.887	0.882	1.000	0.987
200	0.906	0.907	0.893	0.891	1.000	0.978
225	0.902	0.919	0.905	0.907	1.000	0.977
250	0.900	0.930	0.921	0.925	1.000	0.977
275	0.901	0.939	0.938	0.942	1.000	0.977
300	0.904	0.945	0.953	0.955	1.000	0.977
325	0.909	0.945	0.960	0.959	1.000	0.977
350	0.916	0.938	0.955	0.950	1.000	0.977
375	0.926	0.922	0.932	0.926	0.998	0.975
400	0.938	0.894	0.883	0.885	0.985	0.965



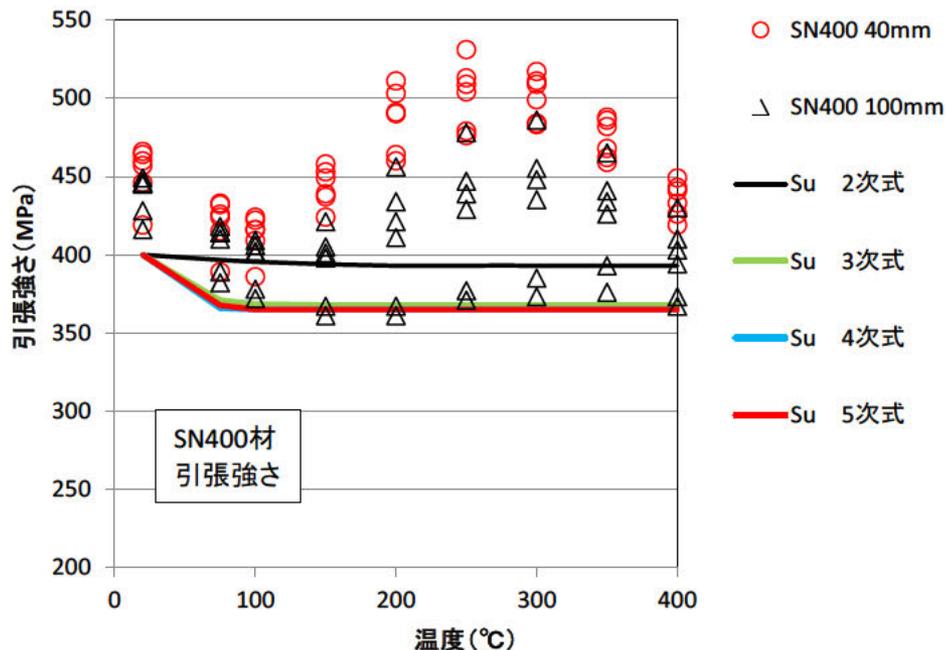
【参考】 S_u 解析結果 SN400

JISに規定されている室温引張強さは、40mmも100mmも同一の値のため、40mm材と100mm材を区別せずに、一緒に解析を実施した。

SN490	40mm		2次	3次	4次	5次
		R2	-0.075	0.339	0.347	0.343
		A0	1.00E+00	1.05E+00	1.07E+00	1.05E+00
		A1	-1.87E-04	-2.91E-03	-4.13E-03	-2.94E-03
		A2	4.12E-07	1.94E-05	3.37E-05	1.41E-05
		A3		-3.22E-08	-8.75E-08	3.65E-08
		A4			6.77E-11	-2.65E-10
		A5				3.18E-13

SN400の40mm材と100mm材を合わせた
12ヒート108点で解析

温度 (°C)	S_u (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	400	400	400	400	400	400
75	397	371	366	368	400	400
100	396	368	365	365	400	399
150	394	368	365	365	400	395
200	393	368	365	365	400	391
225	393	368	365	365	400	391
250	393	368	365	365	400	391
275	393	368	365	365	400	391
300	393	368	365	365	400	391
325	393	368	365	365	400	391
350	393	368	365	365	400	391
375	393	368	365	365	399	390
400	393	368	365	365	394	386



温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.992	0.928	0.915	0.919	1.000	1.000
100	0.989	0.921	0.913	0.913	1.000	0.998
150	0.985	0.941	0.946	0.941	1.000	0.987
200	0.983	0.986	0.998	0.997	1.000	0.978
225	0.982	1.009	1.021	1.023	1.000	0.977
250	0.983	1.030	1.037	1.042	1.000	0.977
275	0.983	1.045	1.046	1.051	1.000	0.977
300	0.984	1.051	1.044	1.047	1.000	0.977
325	0.986	1.045	1.032	1.031	1.000	0.977
350	0.989	1.023	1.009	1.004	1.000	0.977
375	0.991	0.984	0.976	0.969	0.998	0.975
400	0.995	0.924	0.932	0.934	0.985	0.965

データを包絡できない

包絡できないデータは、SN400C(100mm)の2ヒートである。この2ヒートは、他のヒートの傾向と異なる引張強さの温度依存性を示しており、且つ強度が低い。

【参考】 S_u 解析結果 SN490

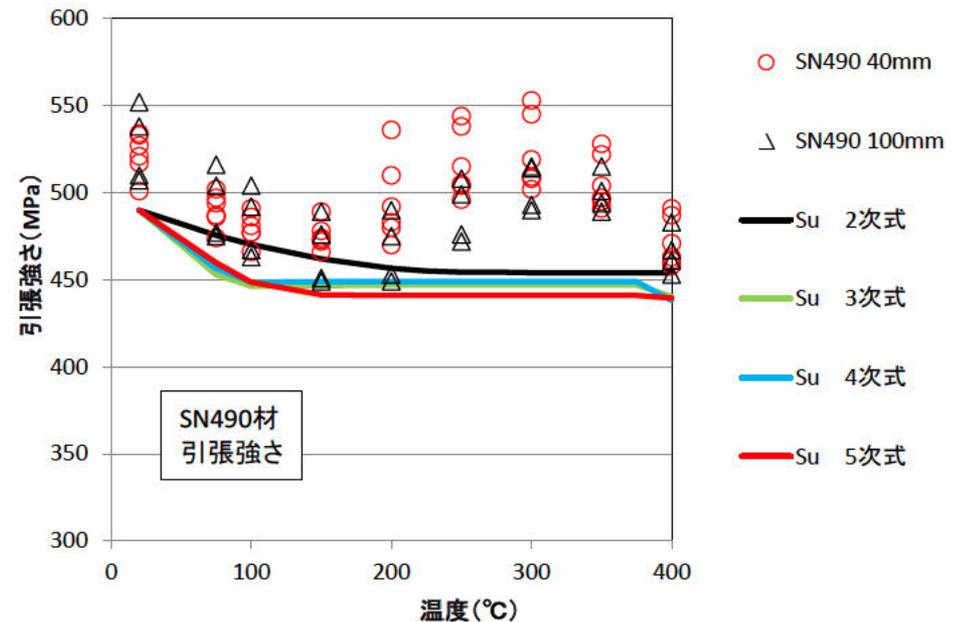
JISに規定されている室温引張強さは、40mmも100mmも同一の値のため、40mm材と100mm材を区別せずに、一緒に解析を実施した。

		2次	3次	4次	5次	
SN490	40mm	R2	-0.114	0.434	0.439	0.443
		A0	1.01E+00	1.05E+00	1.04E+00	1.01E+00
		A1	-6.50E-04	-2.62E-03	-1.95E-03	-1.95E-04
		A2	1.24E-06	1.49E-05	7.04E-06	-2.18E-05
		A3		-2.33E-08	7.32E-09	1.90E-07
		A4			-3.75E-11	-5.26E-10
		A5				4.68E-13

温度 (°C)	S_u (MPa)					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	490	490	490	490	490	490
75	476	453	457	460	490	490
100	470	446	449	449	490	489
150	462	447	449	441	490	484
200	457	447	449	441	490	479
225	455	447	449	441	490	479
250	454	447	449	441	490	479
275	454	447	449	441	490	479
300	454	447	449	441	490	479
325	454	447	449	441	490	479
350	454	447	449	441	490	479
375	454	447	449	441	489	478
400	454	441	438	439	483	473

温度 (°C)	トレンドカーブ					
	試験データより算出				JIS B8267	JIS B8267
	2次	3次	4次	5次	<315MPa	>315MPa
20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
75	0.971	0.924	0.932	0.938	1.000	1.000
100	0.960	0.911	0.916	0.915	1.000	0.998
150	0.943	0.911	0.908	0.901	1.000	0.987
200	0.932	0.934	0.927	0.925	1.000	0.978
225	0.929	0.948	0.942	0.945	1.000	0.977
250	0.927	0.962	0.958	0.964	1.000	0.977
275	0.927	0.972	0.972	0.979	1.000	0.977
300	0.929	0.977	0.980	0.985	1.000	0.977
325	0.932	0.974	0.981	0.979	1.000	0.977
350	0.937	0.962	0.970	0.962	1.000	0.977
375	0.943	0.937	0.942	0.933	0.998	0.975
400	0.950	0.899	0.894	0.897	0.985	0.965

SN490の40mm材と100mm材を合わせた 10ヒート90点で解析



5次式で全データを包絡する。