

「もんじゅ」廃止措置計画の変更内容 (模擬燃料体の部分装荷)

燃料体の跳び上がり量に関する不確かさ、誤差要因との関係

2019年12月9日
日本原子力研究開発機構 (JAEA)

○前回（第25回）監視チーム会合におけるコメントの内、燃料体の跳び上がり量に関する不確かさ、誤差要因との関係について説明する

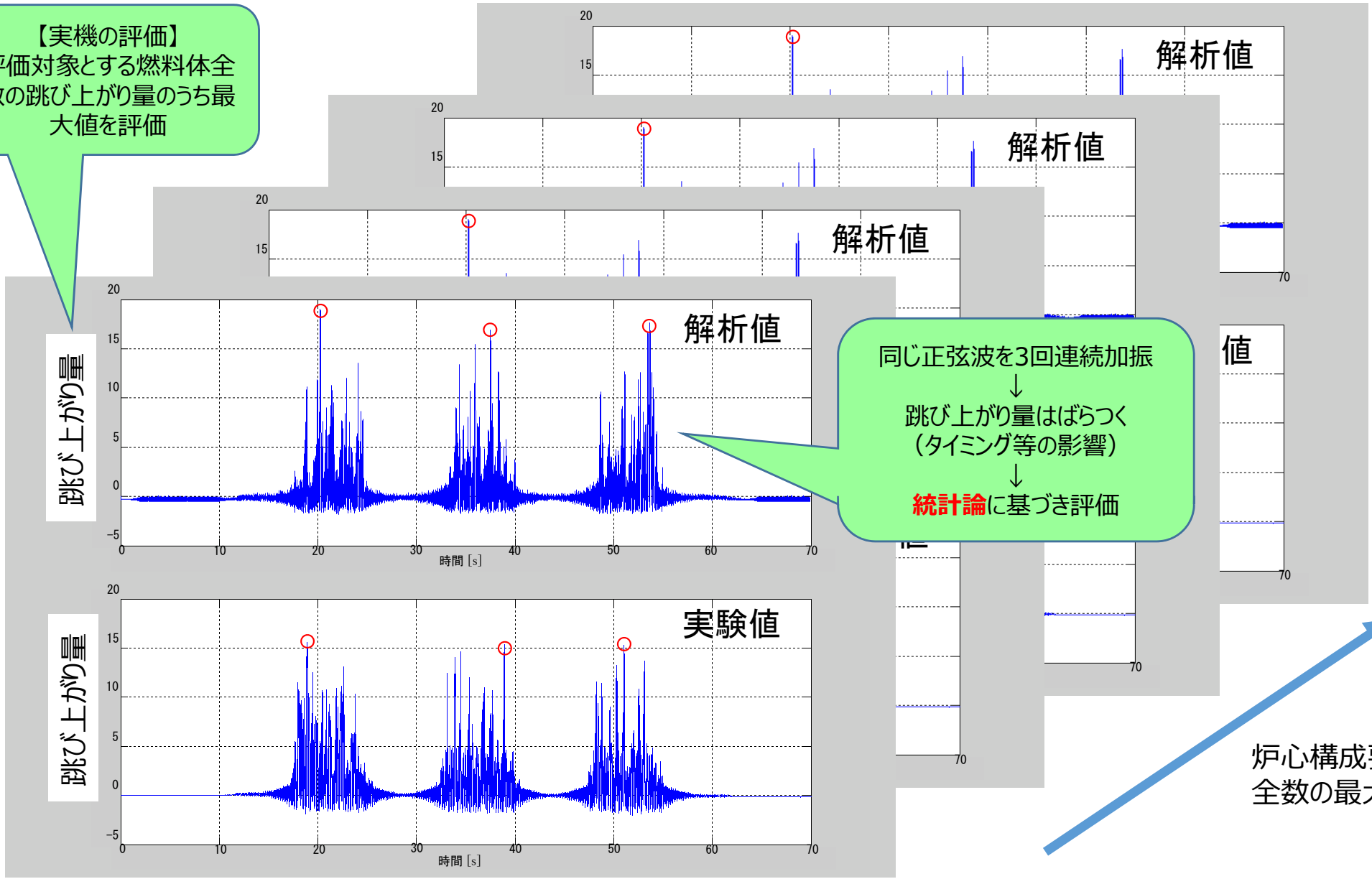
| No | 関連するコメント |
|----|--|
| 10 | 跳び上がり量を判断基準と比較する際に、考慮すべき誤差や不確かさの項目、値を説明すること。 |

- 燃料体の跳び上がりは炉心支持板の加速度及び上向き速度に依存する。炉心支持板の上向き速度が 1 G（流体の浮力は考えない）を超えると、燃料体は浮き上がる。
- その時の燃料体の跳び上がり速度は炉心支持板の上向き速度 V_1 に同じ。
- 初速 $v_1 = V_1$ で上向きに飛び跳ねた燃料体がどこまで上がるかということであるが、最初の跳び上がり高さ h_1 は、流体の浮力と抵抗を無視すれば、重力加速度を g として、 $h_1 = v_1^2/2g = V_1^2/2g$ となり、燃料体の跳び上がり速度は炉心支持板の上向き速度に依存する。
- 次に、燃料体が落ちてきて炉心支持板と速度 v_1 で衝突する。この時の炉心支持板の速度を V_2 とすれば燃料体は速度 $v_2 \doteq V_1 + V_2$ で飛び跳ねる。
- ここで炉心支持板の振動方向が上向きならば V_2 はプラス、下向きならば V_2 はマイナスとなる。
- V_2 がプラスの場合、2回目の最初の跳び上がり高さ $h_2 \doteq (V_1 + V_2)^2/2g$ は初回の跳び上がり高さ h_1 よりも高くなる。
- V_2 がマイナスの場合、2回目の最初の跳び上がり高さ $h_2 \doteq (V_1 - V_2)^2/2g$ は初回の跳び上がり高さ h_1 よりも低くなり、 V_2 が V_1 よりも大きい場合は跳び上がらない。

燃料体の跳び上がり量は、炉心支持板の速度に依存し、かつ燃料体が炉心支持板に衝突する状況（炉心支持板自体も地震力を受け振動する）に影響される。この結果、跳び上がり量は現象論的に比較的大きなバラツキを持つ値となる。

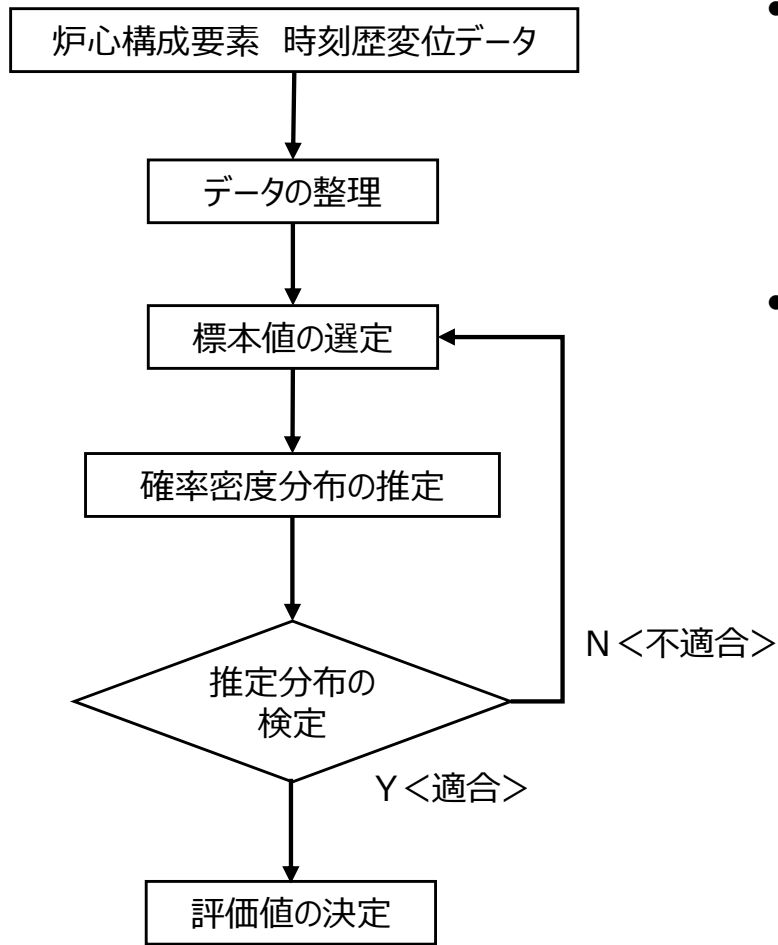
37体群体系 流水中 正弦波3回連続加振試験 上下単独加振 (10.8m/s² 14.6Hz)

【実機の評価】
 評価対象とする燃料体全数の跳び上がり量のうち最大値を評価

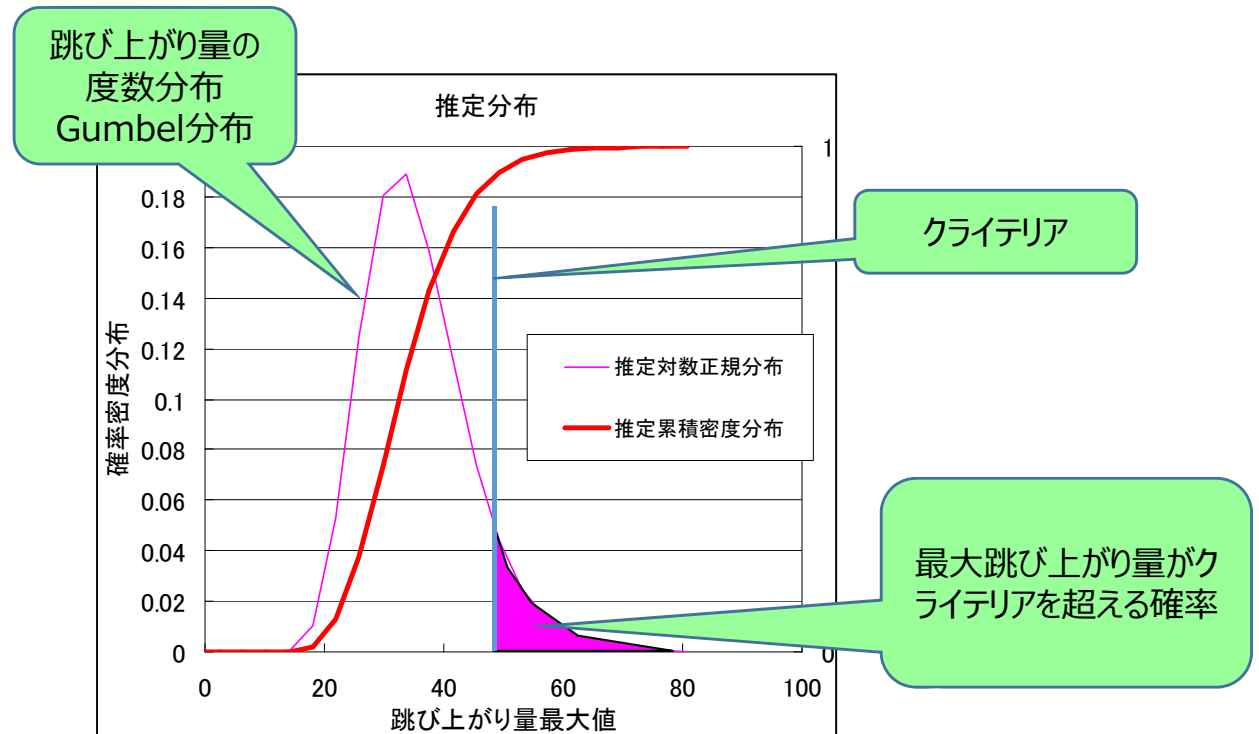


同じ正弦波を3回連続加振
 ↓
 跳び上がり量はばらつく
 (タイミング等の影響)
 ↓
統計論に基づき評価

炉心構成要素数
 全数の最大値

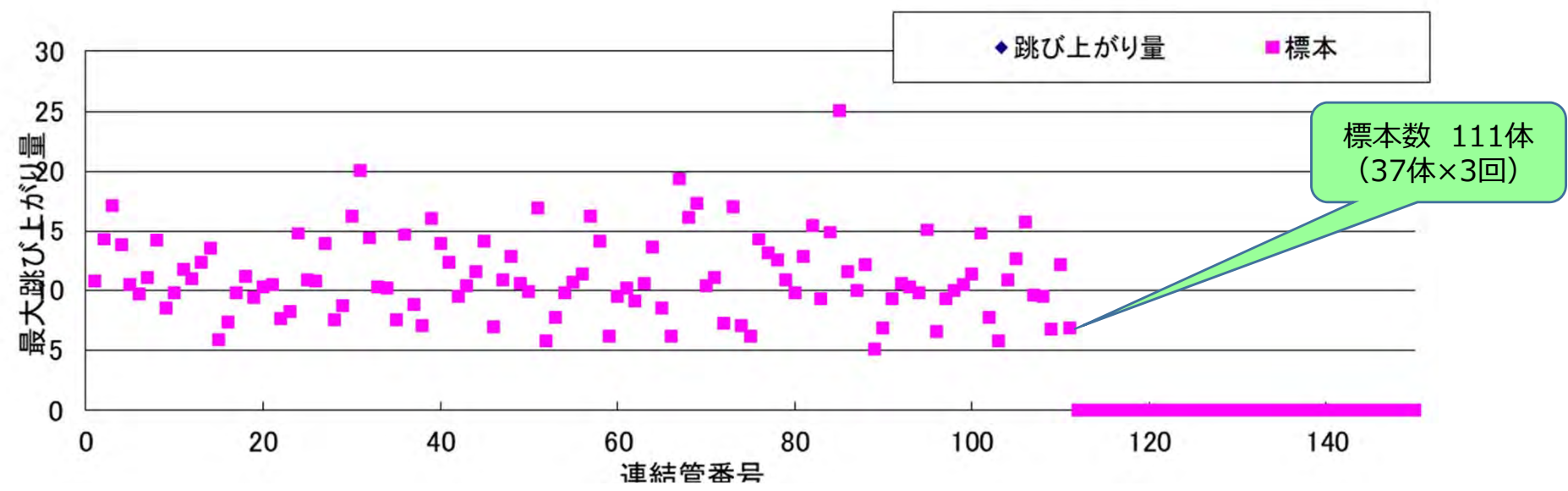


- 群振動解析において評価対象としているのは、跳び上がり量の最大値。統計論で言えば、燃料体の跳び上がり値の分布から、跳び上がり量の最大値を抽出し、跳び上がり量の最大値の推定を行っていることに相当する。
- 具体的には、解析による跳び上がり量の最大値を度数分布（確率密度分布）の形に整理し、この分布から燃料体の跳び上がり最大値を推定していることに相当する。【いわゆる極値統計の考え方】

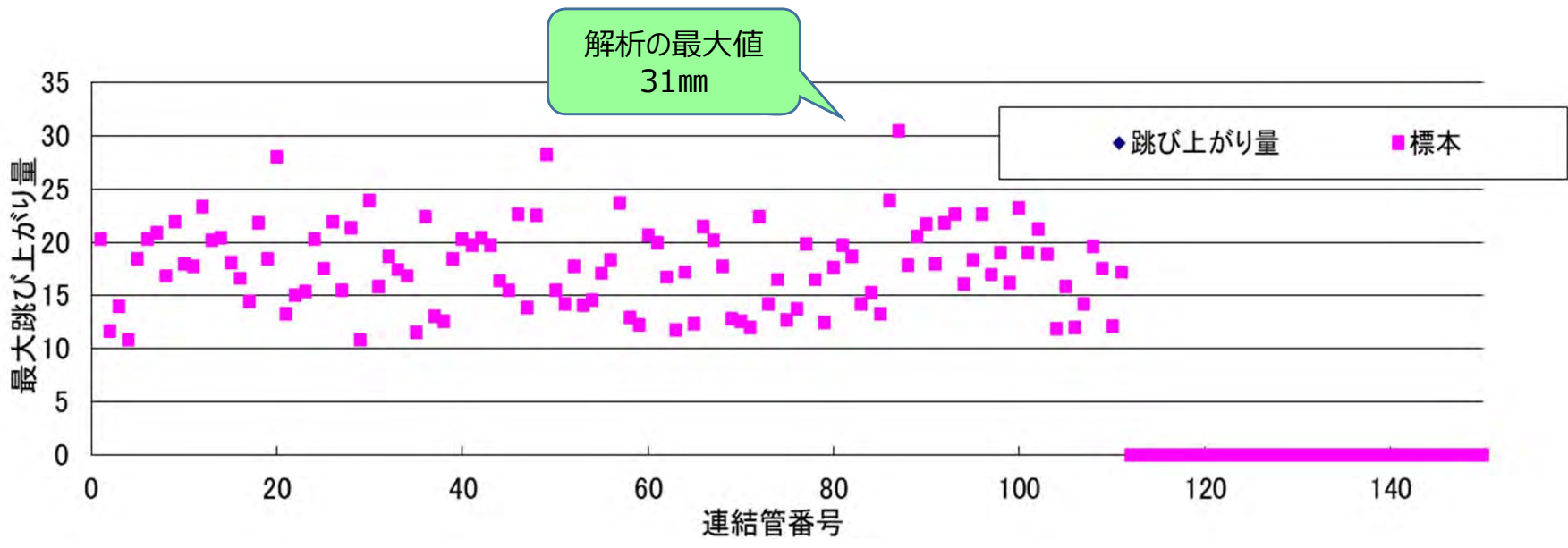


37体群体系 流水中 正弦波3回連続加振試験 上下単独加振 (10.8m/s² 14.6Hz)

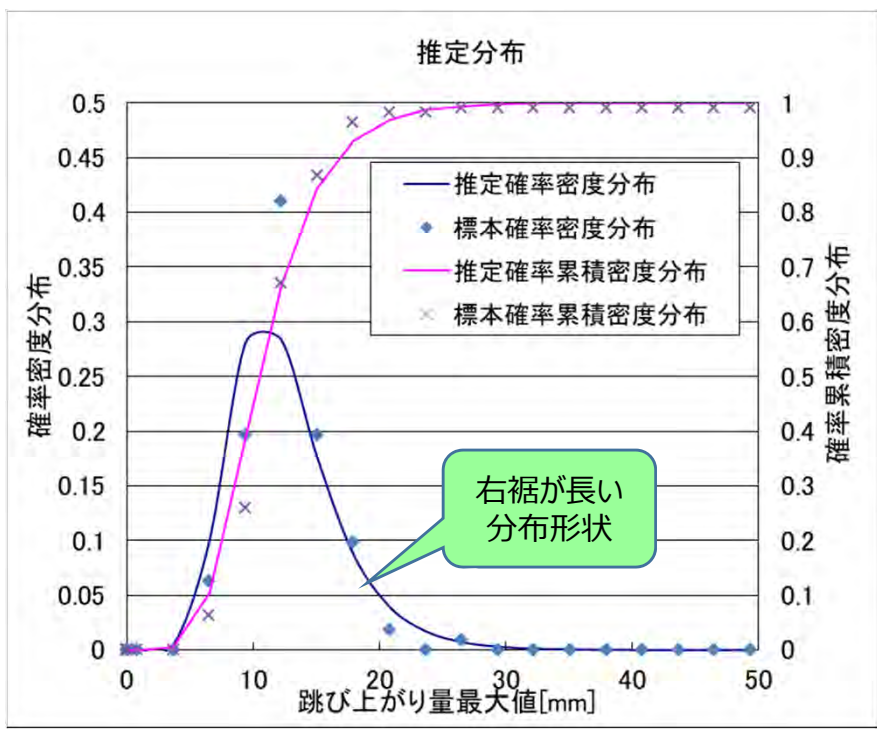
実験値



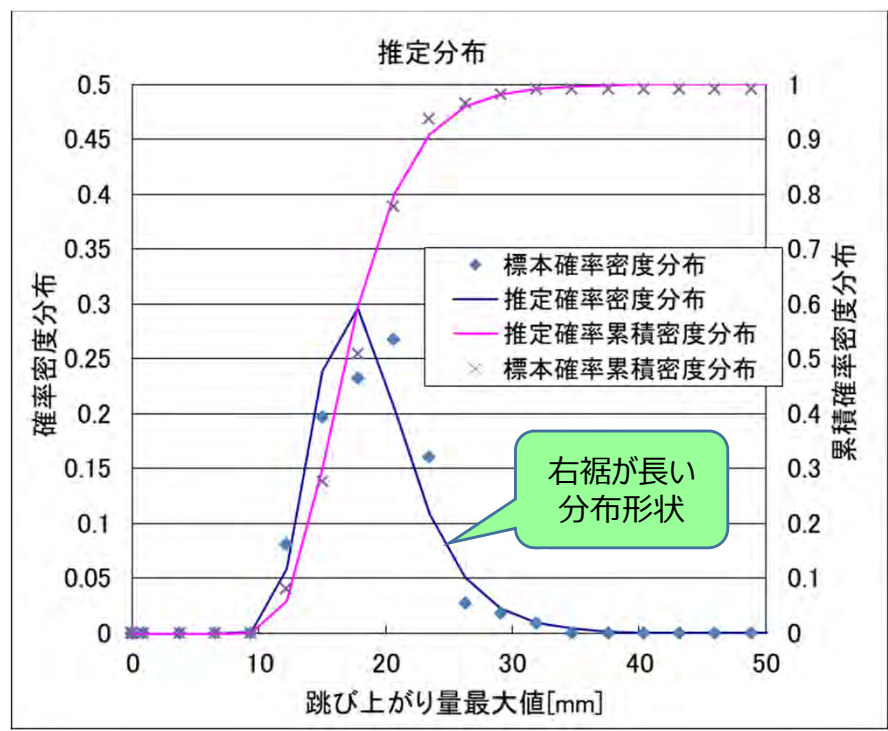
解析値



37体群体系 流水中 正弦波3回連続加振試験 上下単独加振 (10.8m/s² 14.6Hz)



実験値



解析値

②

クライテリアを31mmに設定すると、実際の跳び上がり量が31mmを超える確率は0.1%程度

| 跳び上がり量がクライテリアを超える確率 % | クライテリア mm |
|-----------------------|-----------|
| 5 | 19.1 |
| 1 | 24.5 |
| 0.1 | 32.1 |
| 0.01 | 39.7 |

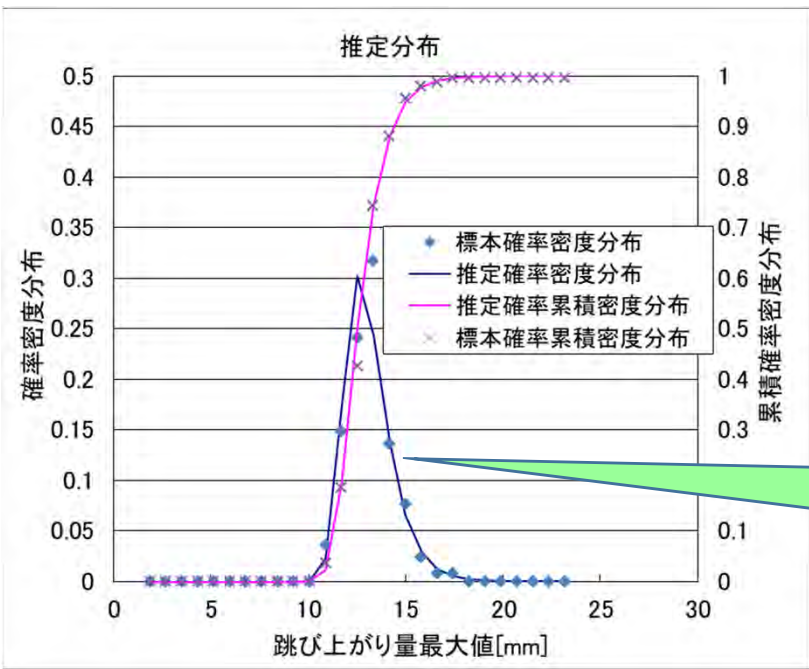
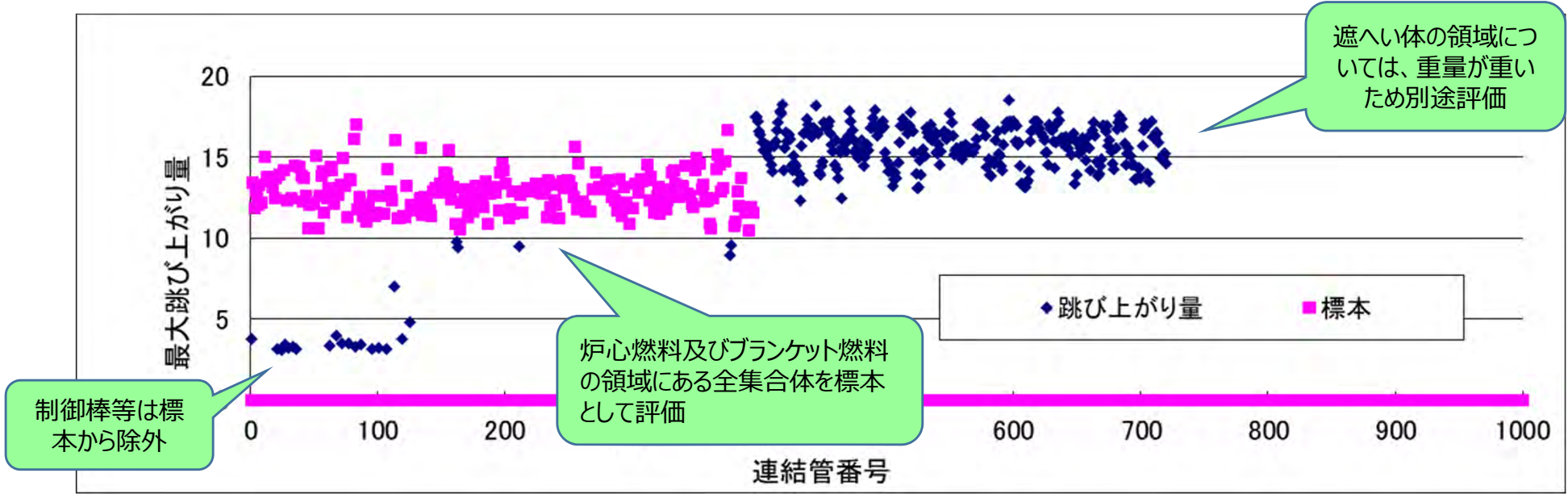
①

例えば跳び上がり量の最大値クライテリアを31mmに設定

| 跳び上がり量がクライテリアを超える確率 % | クライテリア mm |
|-----------------------|-----------|
| 5 | 25.6 |
| 1 | 31.0 |
| 0.1 | 38.7 |
| 0.01 | 46.4 |

- 解析モデルと実現象との間には様々な誤差要因を有す。しかし、燃料体の跳び上がりは衝突現象という大きなバラツキ要因をもつ現象であることから、全ての誤差要因を抽出し、個別に評価して不確かさの総和を求めても、その影響は衝突現象のバラツキの中に埋没する。
- このため、実験結果と同じ条件で評価した解析結果を比較。頻度分布形状が似ており、本解析手法は実現象を良く再現している。
- 実験結果と解析結果を比べると、平均値や中央値、最大値側の裾の広がりほぼ同等となる。
- 解析による炉心構成要素の跳び上がり量（クライテリア）として、評価対象の全数の中の最大値を採用することで、確率論的には一定程度の信頼度（例えば99%以上）をもって跳び上がり量の最大値を評価していることになる。

もんじゅ部分装荷の跳び上がり量の評価（今回の評価値）



| 跳び上がり量がクライテリアを超える確率 % | クライテリア mm |
|-----------------------|-----------|
| 5 | 15.0 |
| 1 | 16.6 |
| 0.1 | 18.8 |
| 0.01 | 21.0 |

確率密度（頻度）分布は37体系試験の分布と同様の形状

最大跳び上がり量を解析の最大値である16.6mmと推定する。これを超える確率は理論上1%以下。