

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません。

## 補足説明資料 7

### 安全保護系の信頼性評価に関する 補足説明

## 1. 概要

安全保護系の信頼性評価においては、採用する機器の特徴等を考慮して適切な評価を実施している。

本資料では、従来型アナログ設備とデジタル設備の信頼性評価の比較について、安全審査及びデジタル設備の評価手法の特徴を明確にすることで、妥当性を説明する。

また、信頼性評価は評価モデルや故障率の設定によって幅をもつことから、これらを変更した場合の信頼性評価について複数のケース検討を行ったうえで、デジタル設備が従来型アナログ設備に対して同等以上の信頼性を有していることを説明する。

### 3. 従来型アナログ設備の信頼性評価

#### 3.1 評価方法

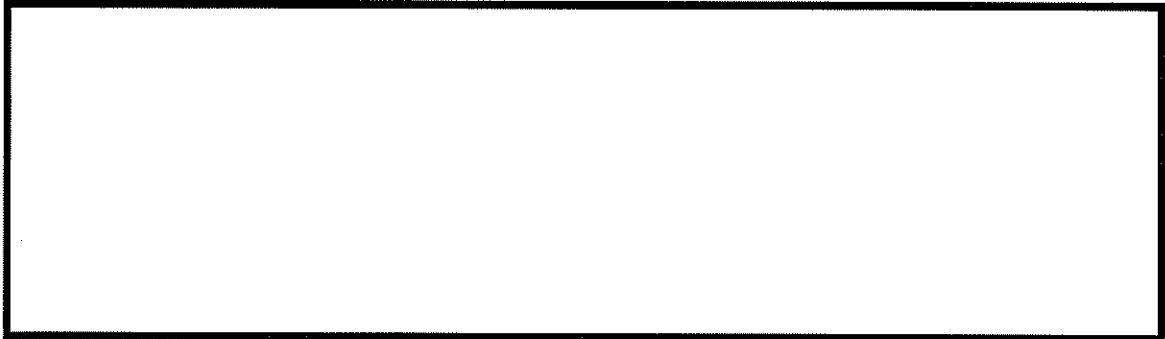
信頼性評価の結果を第2表に示す。

第1表 従来型アナログ設備の故障率

第2表 従来型アナログ設備の信頼性評価

信頼性	設備構成	従来型アナログ設備【A】
	アンアベイラビリティ	
	誤動作率	
	評価モデル/評価式	添付1参照

3.2 デジタル設備と同様の評価方法を適用した場合



第3表 従来型アナログ設備（ケース検討）の故障率

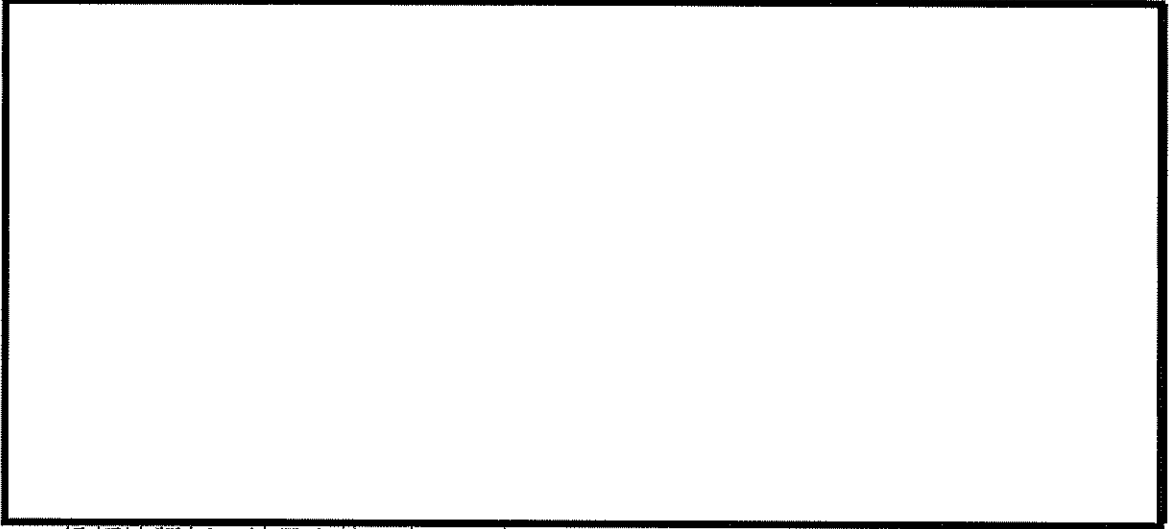
Empty table content for Table 3	
---------------------------------	--

第4表 従来型アナログ設備（ケース検討）の信頼性評価

信頼性 \ 設備構成	従来型アナログ設備【B】
アンアベイラビリティ	
誤動作率	
評価モデル／評価式	添付2参照

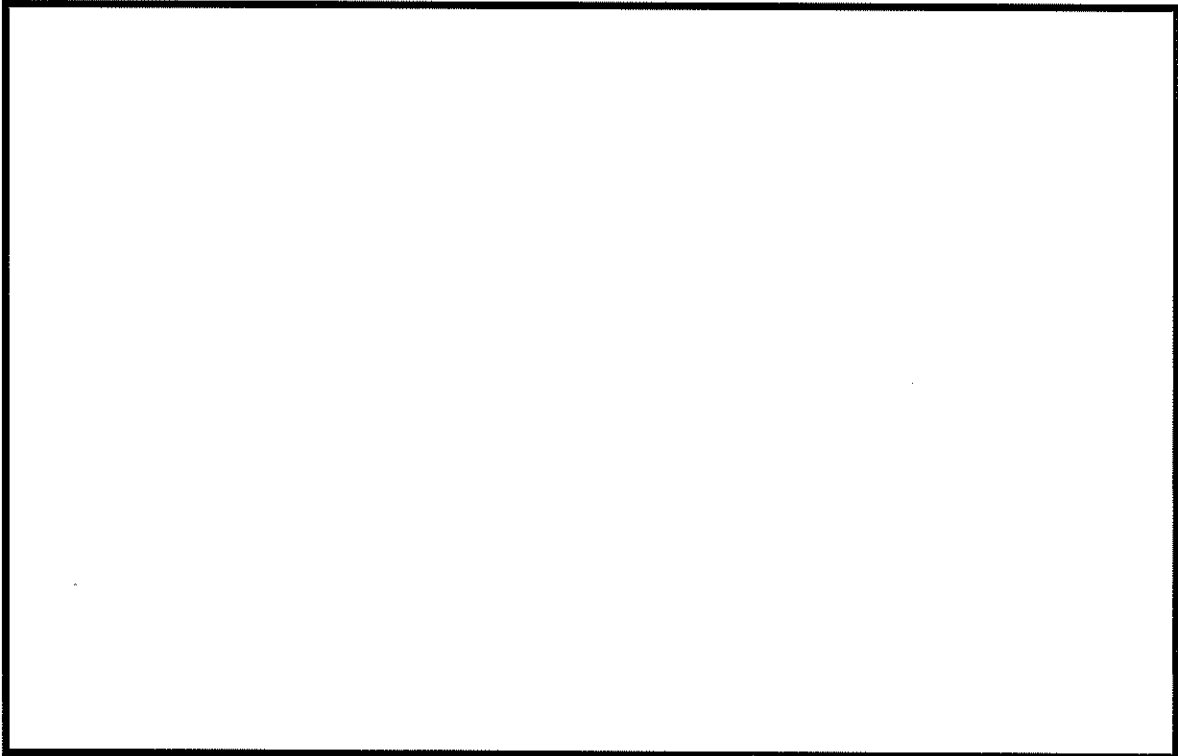
#### 4. デジタル設備の信頼性評価

##### 4.1 評価手法



信頼性評価の結果を第6表に示す。

第5表 デジタル設備の故障率



第6表 デジタル設備の信頼性評価

信頼性 \ 設備構成	デジタル設備【C】
アンアベイラビリティ	
誤動作率	
評価モデル/評価式	添付3参照

#### 4.2 MIL-HDBK-217F について

デジタル設備の制御カード（入力回路、マイクロプロセッサ及び出力回路）の故障率の設定に用いている MIL-HDBK-217F（以下「MIL」という。）は、米国国防総省により刊行された信頼性予測法である。MIL は調達した膨大な軍用電子機器のフィールド使用実績に基づいたものであるが、軍用電子機器としての安全係数を十分に見込んだものとなっているため、算出された故障率は、実績値と比較すると、MIL の方が 10～100 倍程度高く算出されることが知られている。

なお、MIL は、デジタル素子の大規模化/高機能化等から適切な基礎故障が提供できなくなった等の理由から、1995 年に改訂版が刊行されて以降、改訂されておらず、その後、米国国防総省の外郭団体である信頼性解析センター（Reliability Analysis Center）から、MIL に代わる信頼性の高い予測手法として PRISM が提案されている。しかしながら、デジタル安全保護系としての評価としては、保守性があり、審査実績のある MIL を用いた数値を記載している。

#### 4.3 新しい信頼性予測法について

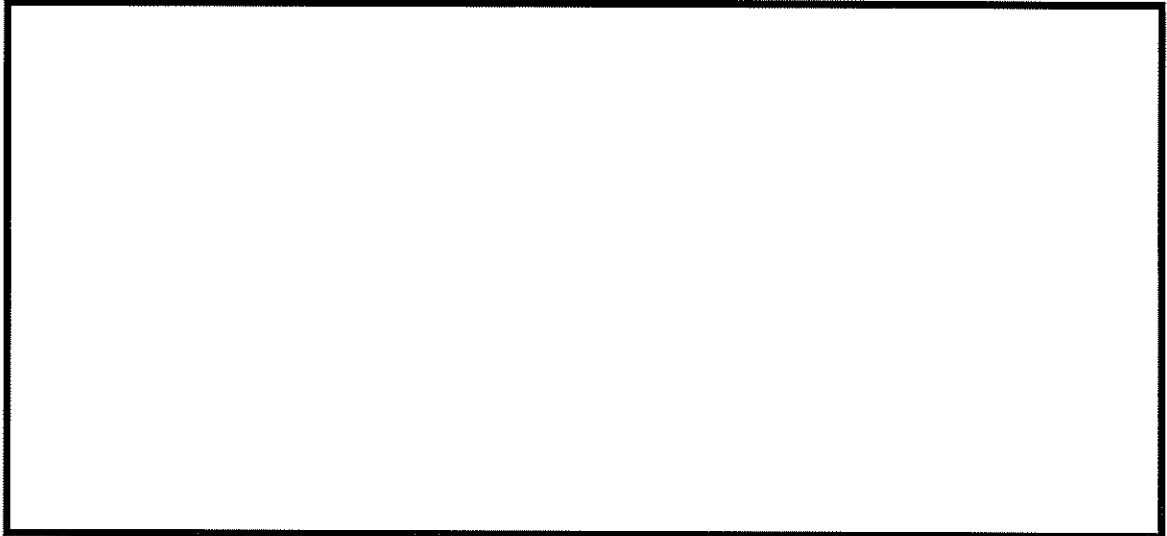
MILの経験則モデル予測は、機器の故障率は機器を構成する部品により決まるという前提に立っており、これは部品が高い故障率を示し、機器が複雑でない場合には良い考え方である。一方、機器の複雑性の増加及び部品品質の向上により、機器の故障原因が部品そのものから部品以外の原因に移っているため、部品に全ての故障を帰着させるMILの考え方は過度な保守性を有している。

MILに代わる新しい信頼性予測法として開発されたPRISM<sup>TM</sup>は、部品以外の故障原因（設計、製造等）も考慮した信頼性予測法であり、これは機器（システム）レベルの信頼性予測モデルと部品レベルの信頼性予測モデルからなっている。MILによる部品故障率の算出が基礎故障率に環境要素を変数とした乗算形式モデルであるのに対し、PRISMの部品レベルの信頼性予測モデルでは、各故障原因に個別の故障率を予測する加算と乗算の組合せたモデルであり、現実的な保守性を有している。

※PRISMは、MILに代わる高い予測精度に応えられる手法として、米国国防総省の外郭団体である信頼性解析センター（Reliability Analysis Center）により開発された信頼度予測法である。



4.4 マイクロプロセッサに実績や新しい信頼性予測法に基づく故障率を用いる場合



第7表 デジタル設備（ケース検討）におけるマイクロプロセッサの故障率

--	--

第8表 デジタル設備（ケース検討）の信頼性評価

信頼性	設備構成	デジタル設備【D】
アンアベイラビリティ		
誤動作率		

## 5. 信頼性評価のまとめ

信頼性評価においては、採用する機器の特徴等を考慮した適切な評価を実施しており、建設時の安全審査とデジタル設備の信頼性評価で、信頼性評価における評価モデルや算出過程で細部に違いがあるものの、それぞれの設備がもつ特徴を踏まえて信頼性評価がなされている。このため、これまでの審査との連続性も考慮して、従来型アナログ設備とデジタル設備の信頼性評価の比較では、第9表に示す建設時の安全審査とデジタル設備とで信頼性評価を比較しており、この結果、デジタル設備は従来型アナログ設備に比べて同等以上の信頼性を有している。

また、信頼性評価は評価モデルや故障率の設定によって幅をもつことから、従来型アナログ設備とデジタル設備について、第10表にそれぞれ3.2項及び4.4項のケース検討を実施した信頼性評価を比較しており、この結果においても、デジタル設備は従来型アナログ設備に比べて同等以上の信頼性を有している。

なお、従来型アナログ設備のケース検討における信頼性評価【B】の誤動作率は、検出器の個数等の保守性を排除しており、一方、デジタル設備の信頼性評価【C】の誤動作率は、マイクロプロセッサの故障率に大きな保守性を見込んでいることから、【B】と【C】を比較することは適切ではない。

第9表 従来型アナログ設備とデジタル設備との信頼性評価の比較

	従来型アナログ設備【A】	デジタル設備【C】
アンアベイラビリティ [/demand]		
誤動作率 [/hr]		

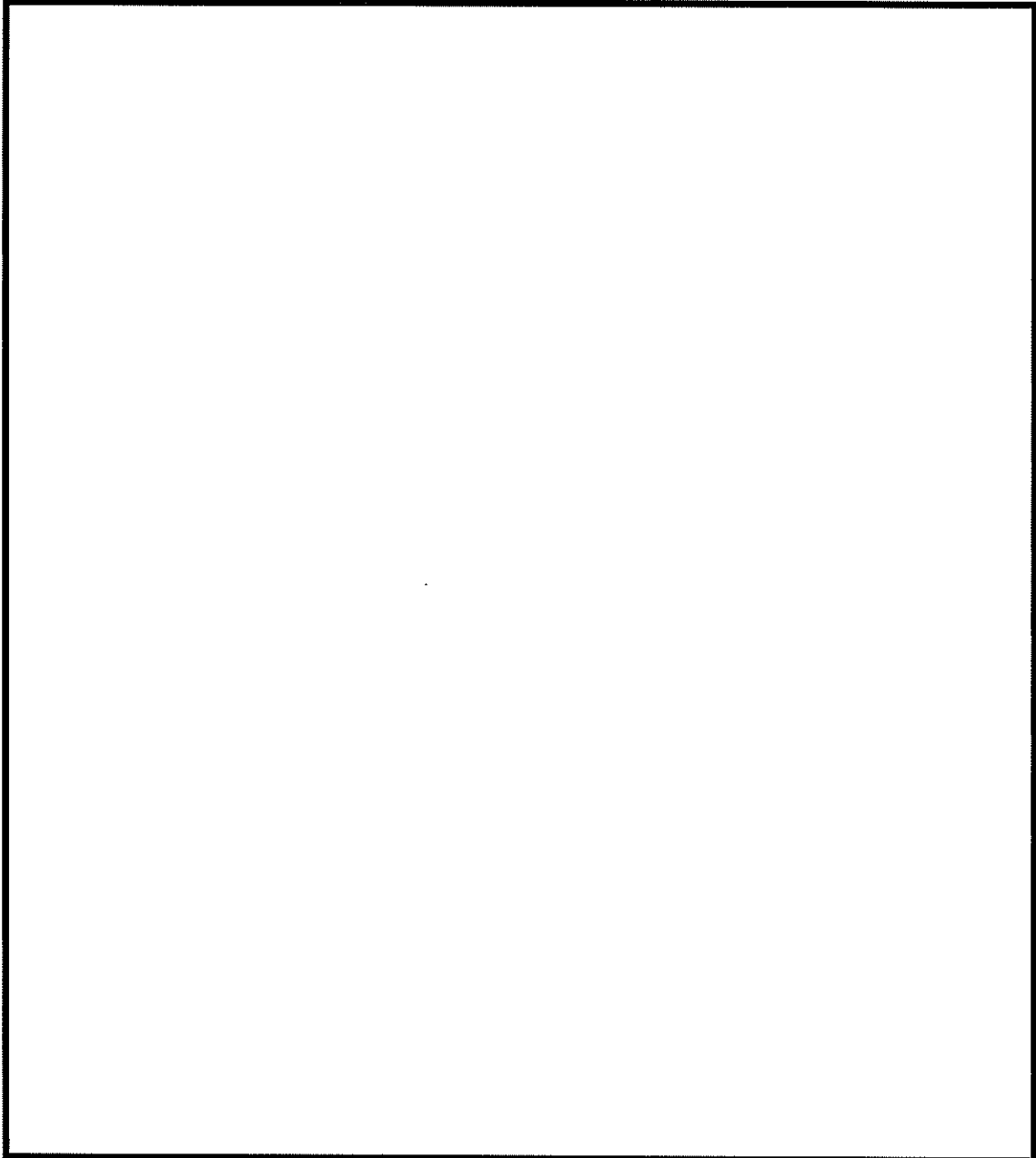
第10表 ケース検討における信頼性評価の比較

	従来型アナログ設備【B】	デジタル設備【D】
アンアベイラビリティ [/demand]		
誤動作率 [/hr]		

従来型アナログ設備（安全審査）の評価モデル／評価式

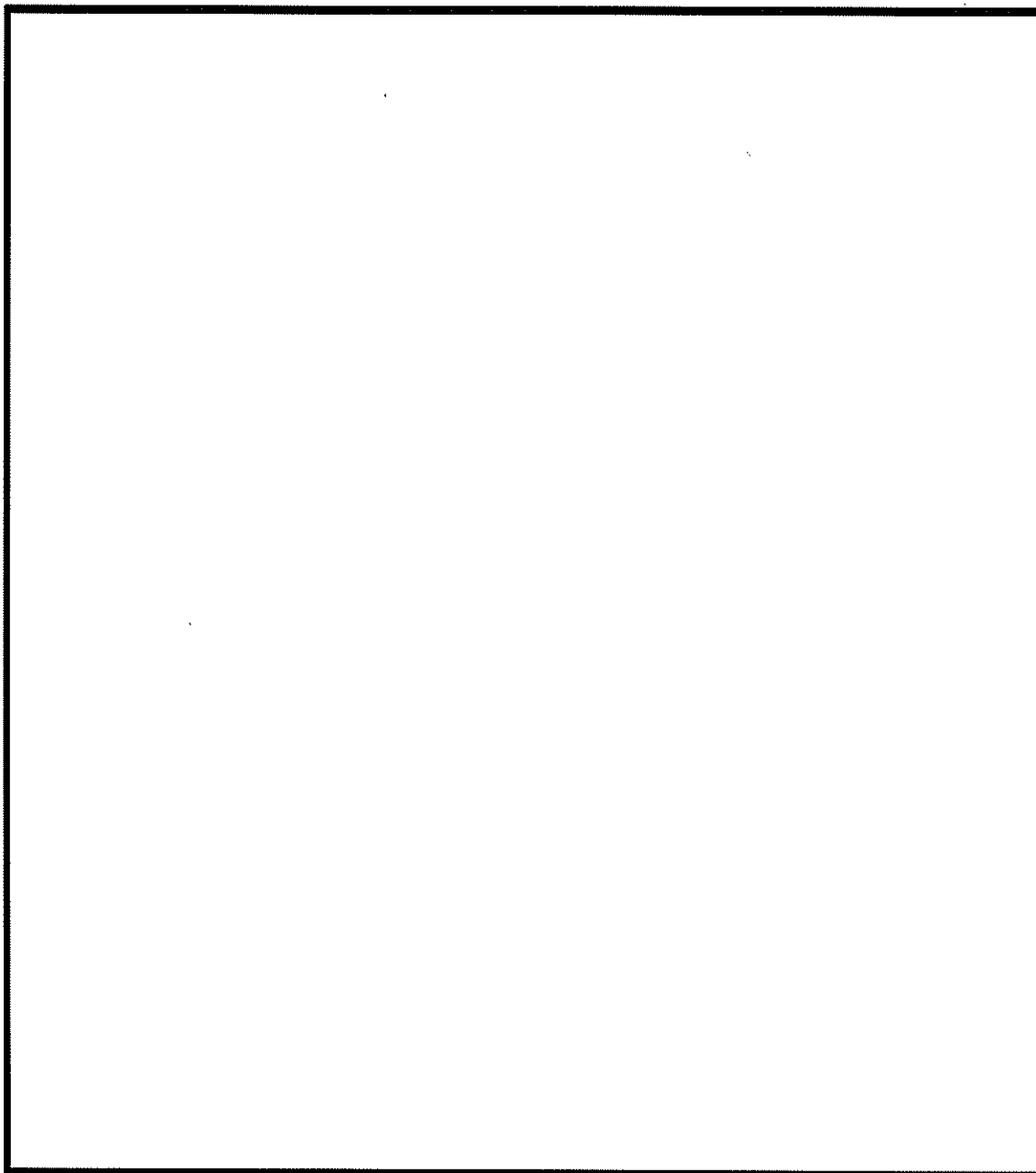
(1) 評価モデル

a. アンアベイラビリティ



[添付 1] 第 1 図 アンアベイラビリティ評価モデル

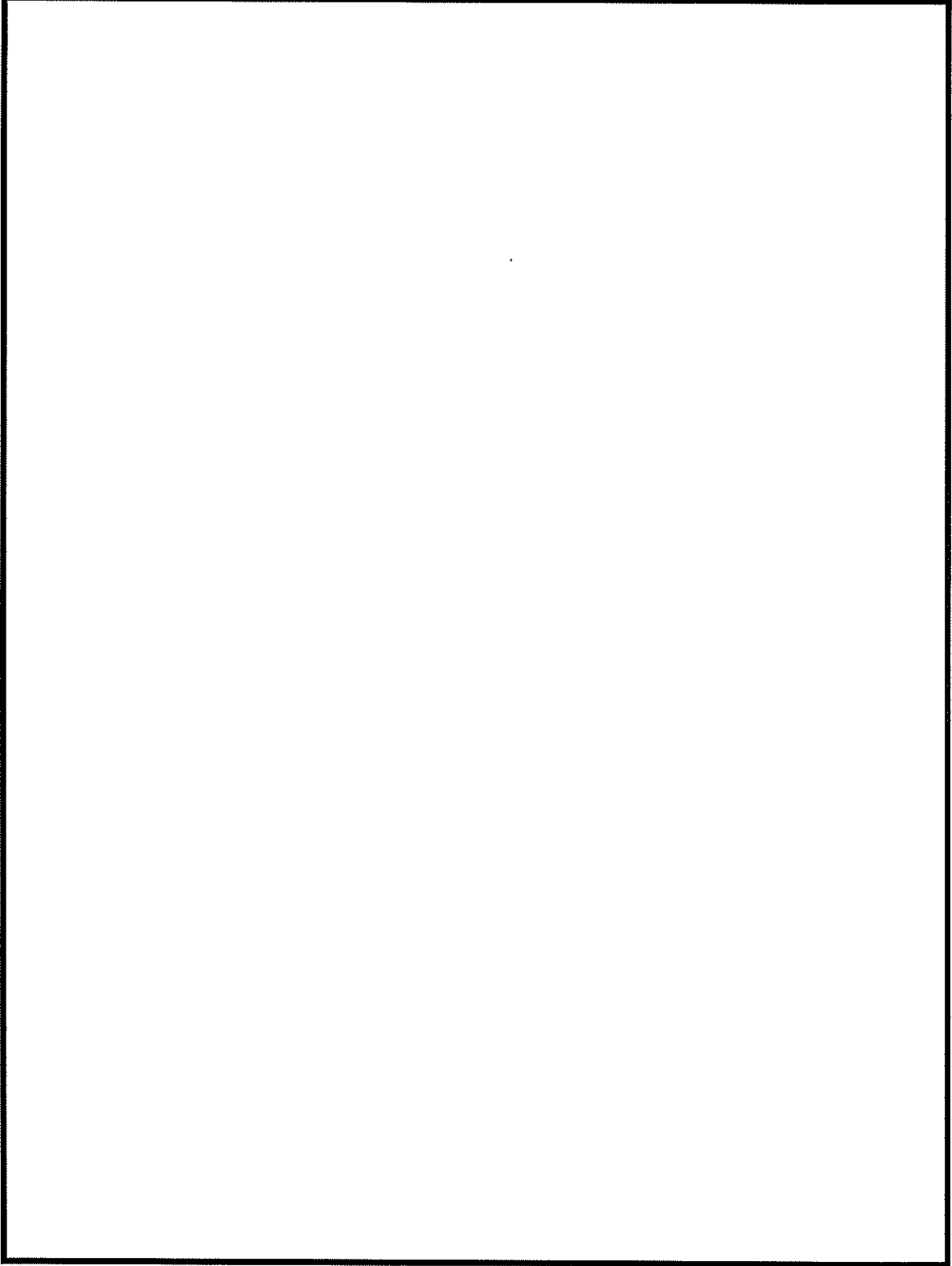
b. 誤動作率



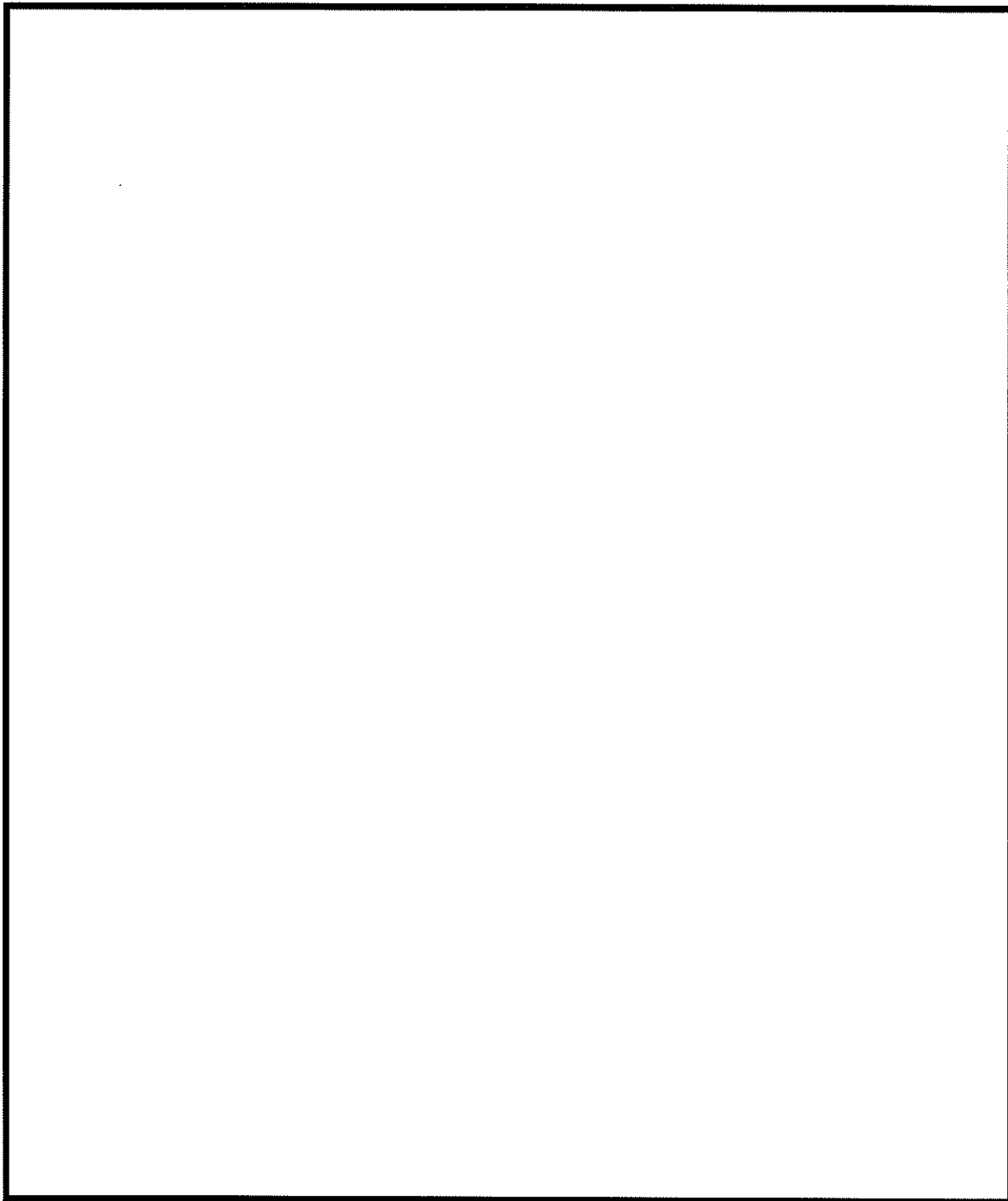
[添付 1] 第 2 図 誤動作率評価モデル

(2) 評価式

a. アンアベイラビリティ



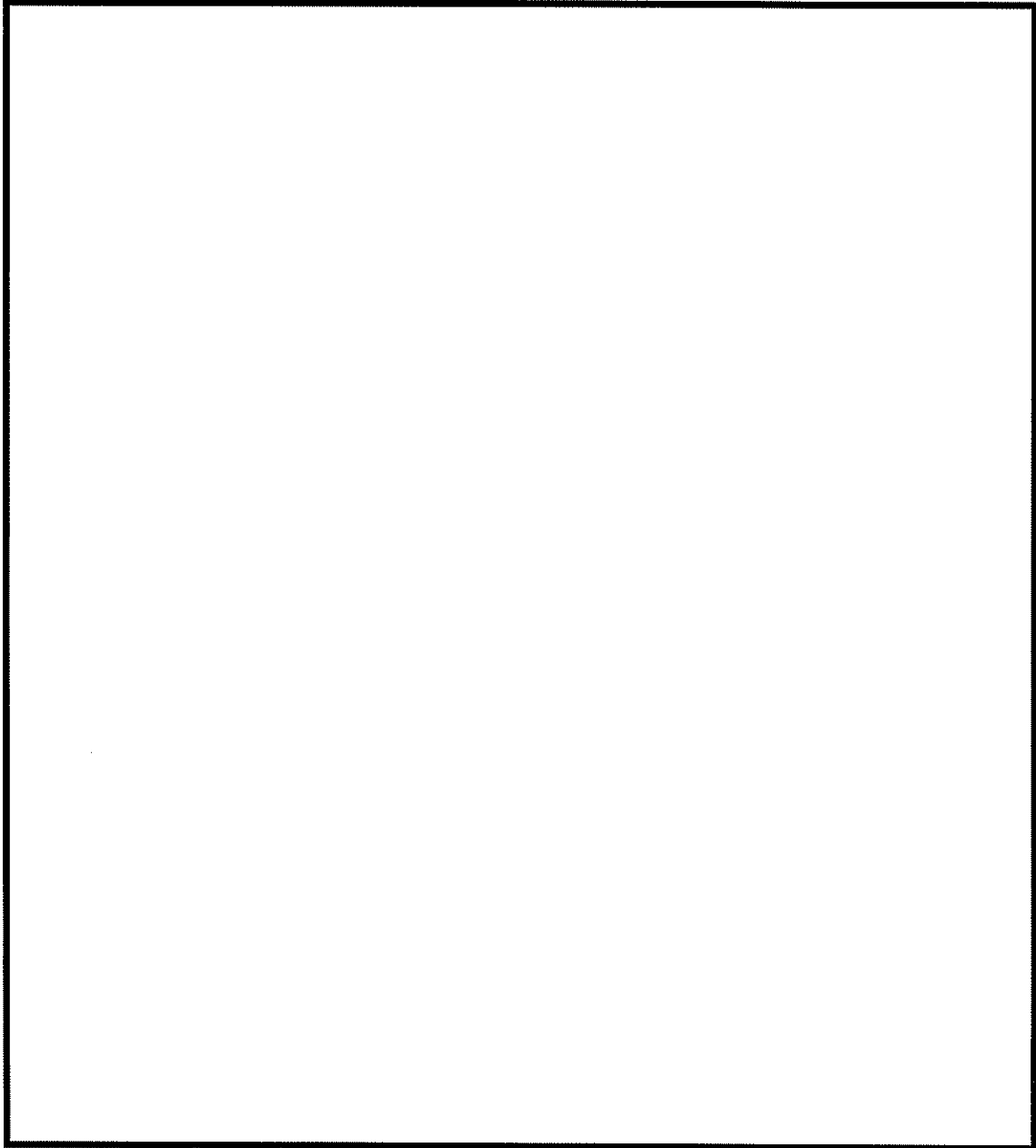
b. 誤動作率



従来型アナログ設備（ケース検討）の評価モデル／評価式

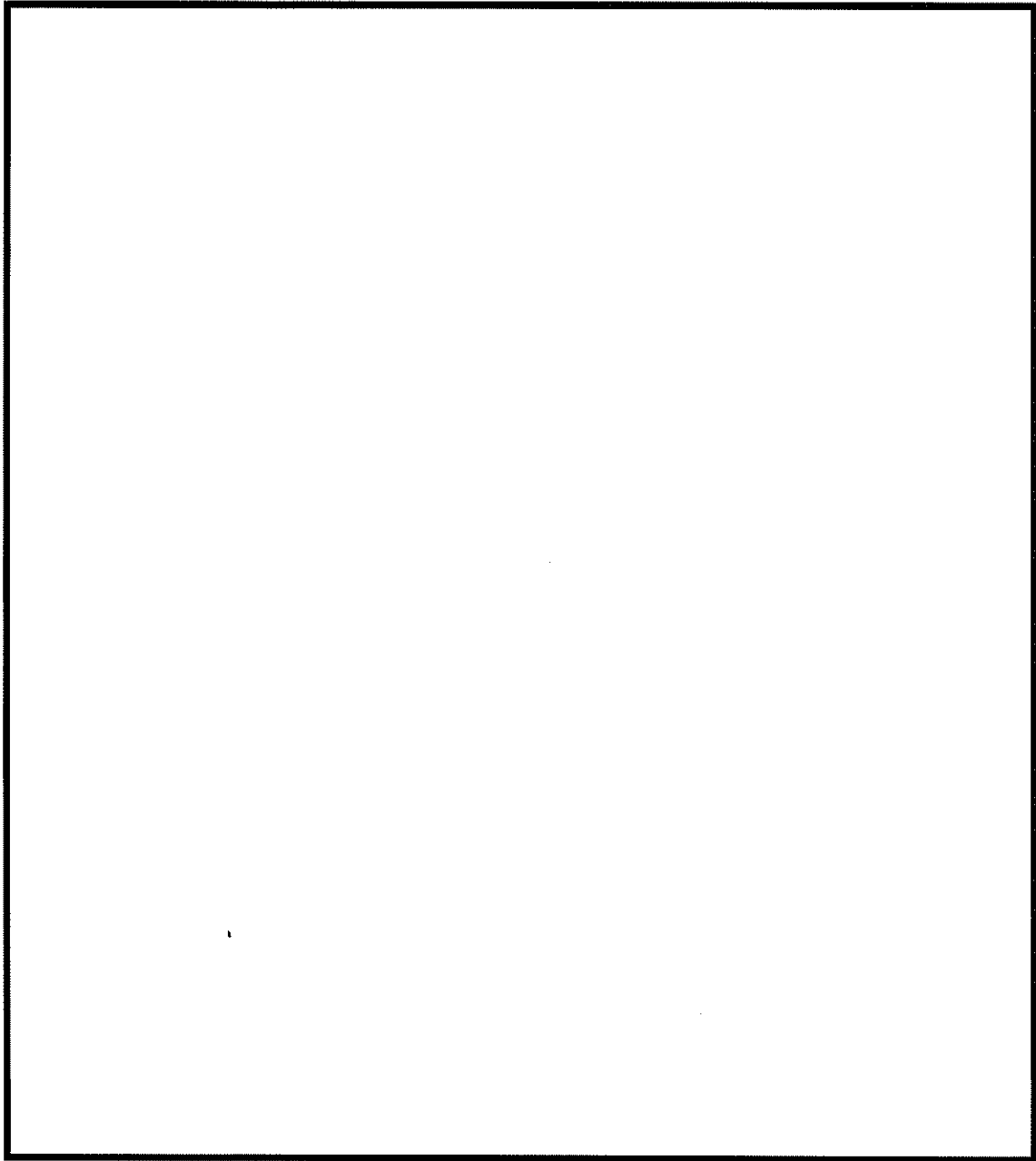
(1) 評価モデル

a. アンアベイラビリティ



[添付 2] 第 1 図 アンアベイラビリティ評価モデル

b. 誤動作率

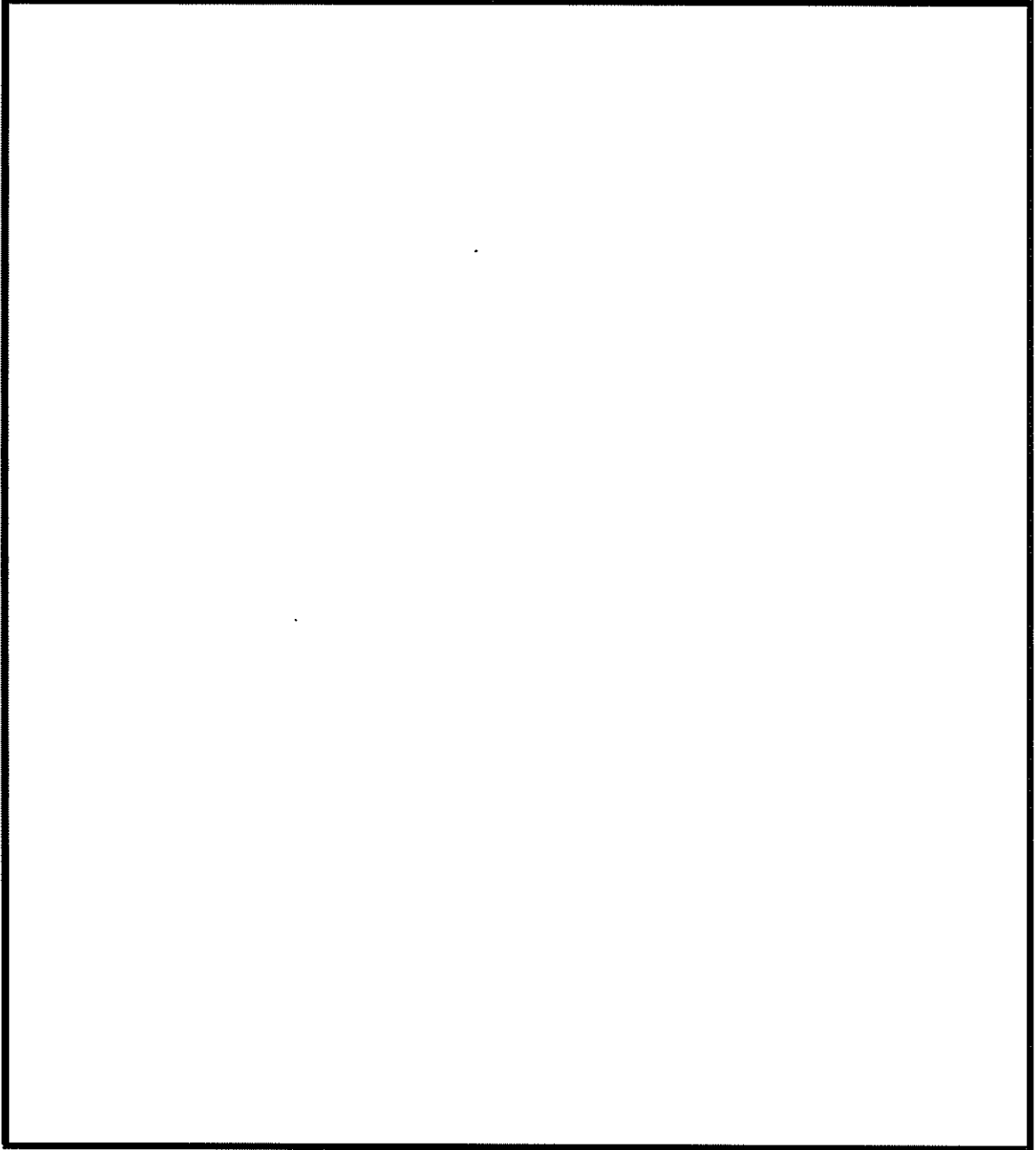


[添付 2] 第 2 図 誤動作率評価モデル

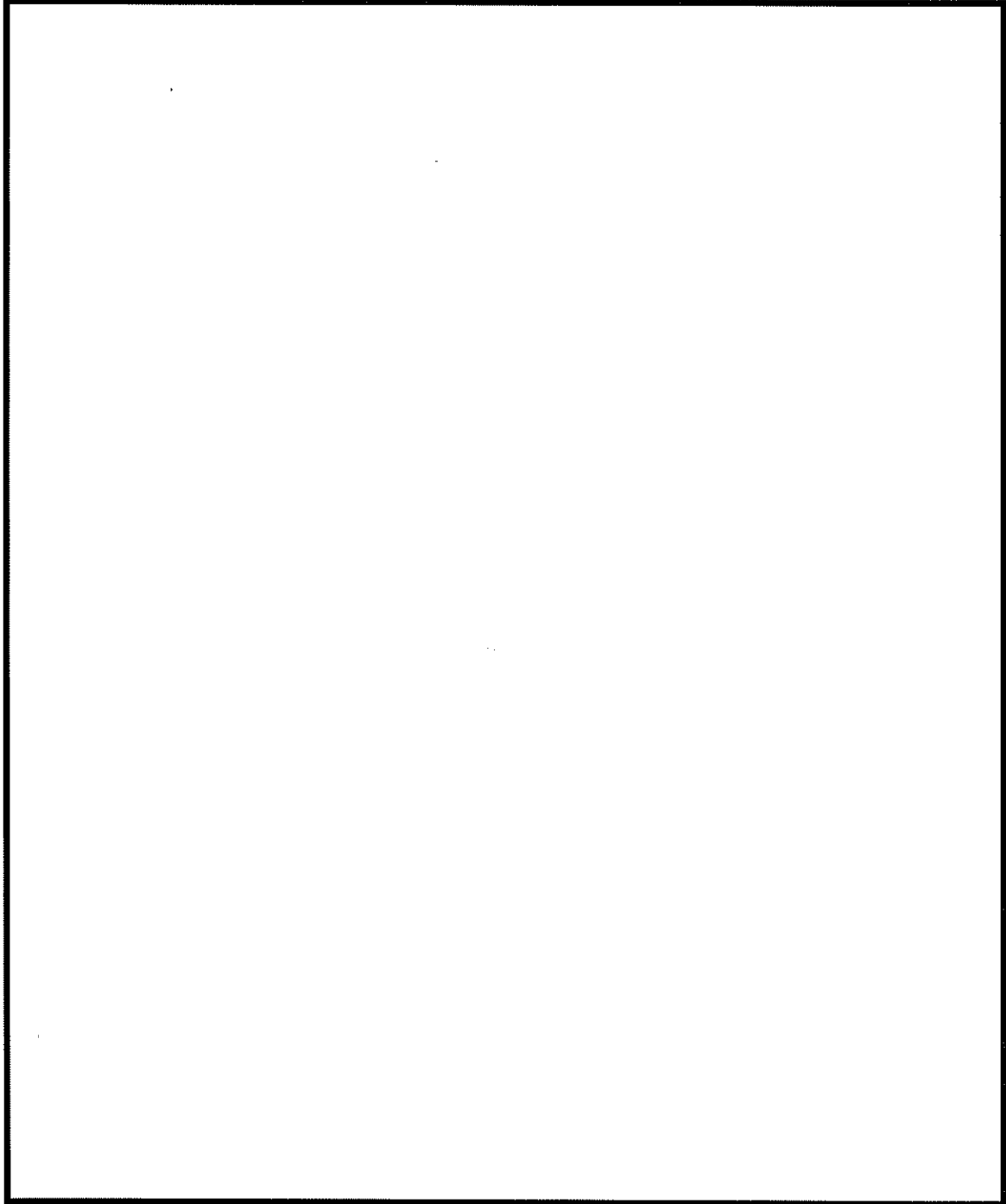


(2) 評価式

a. アンアベイラビリティ



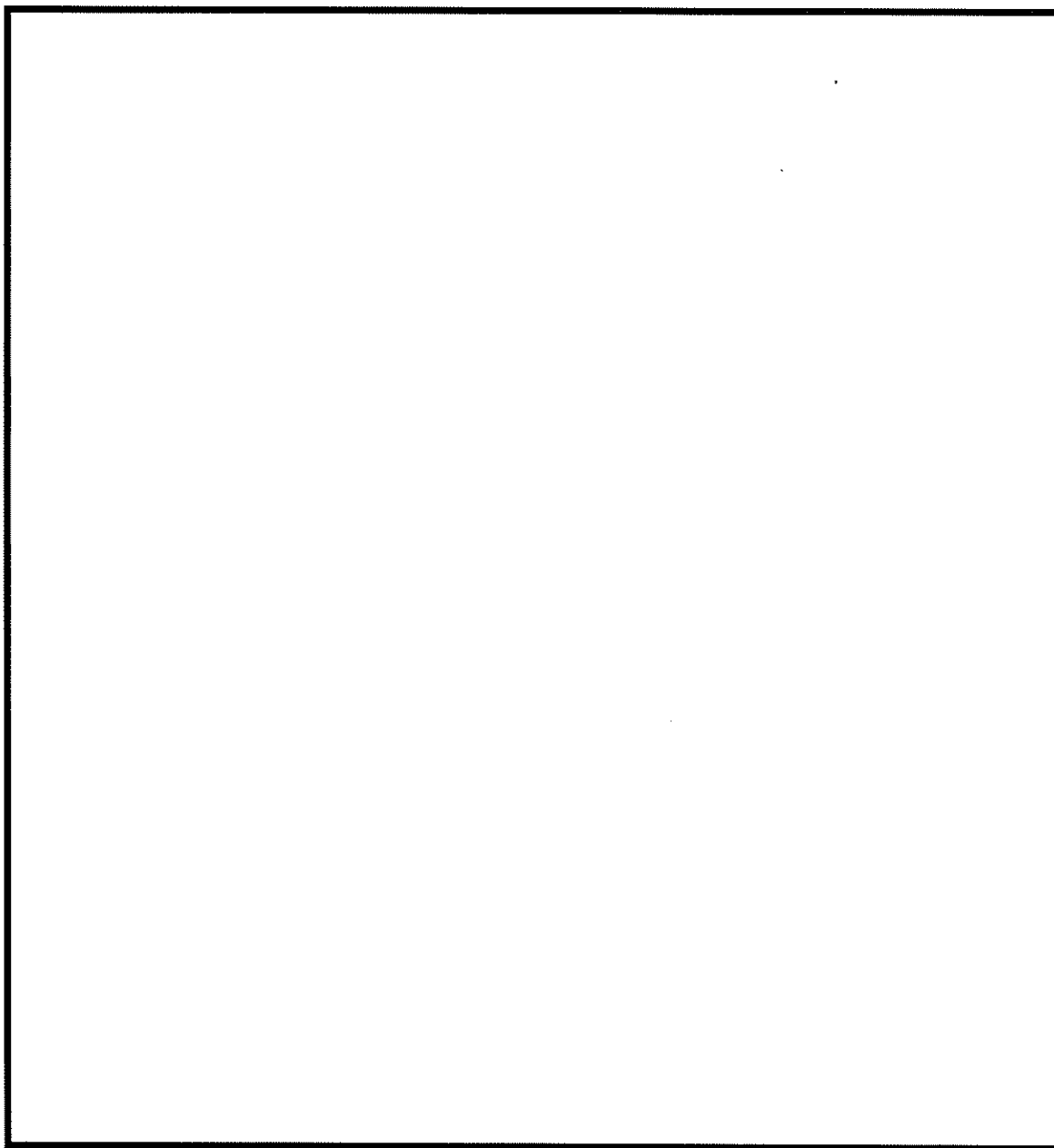
b. 誤動作率



デジタル設備の評価モデル／評価式

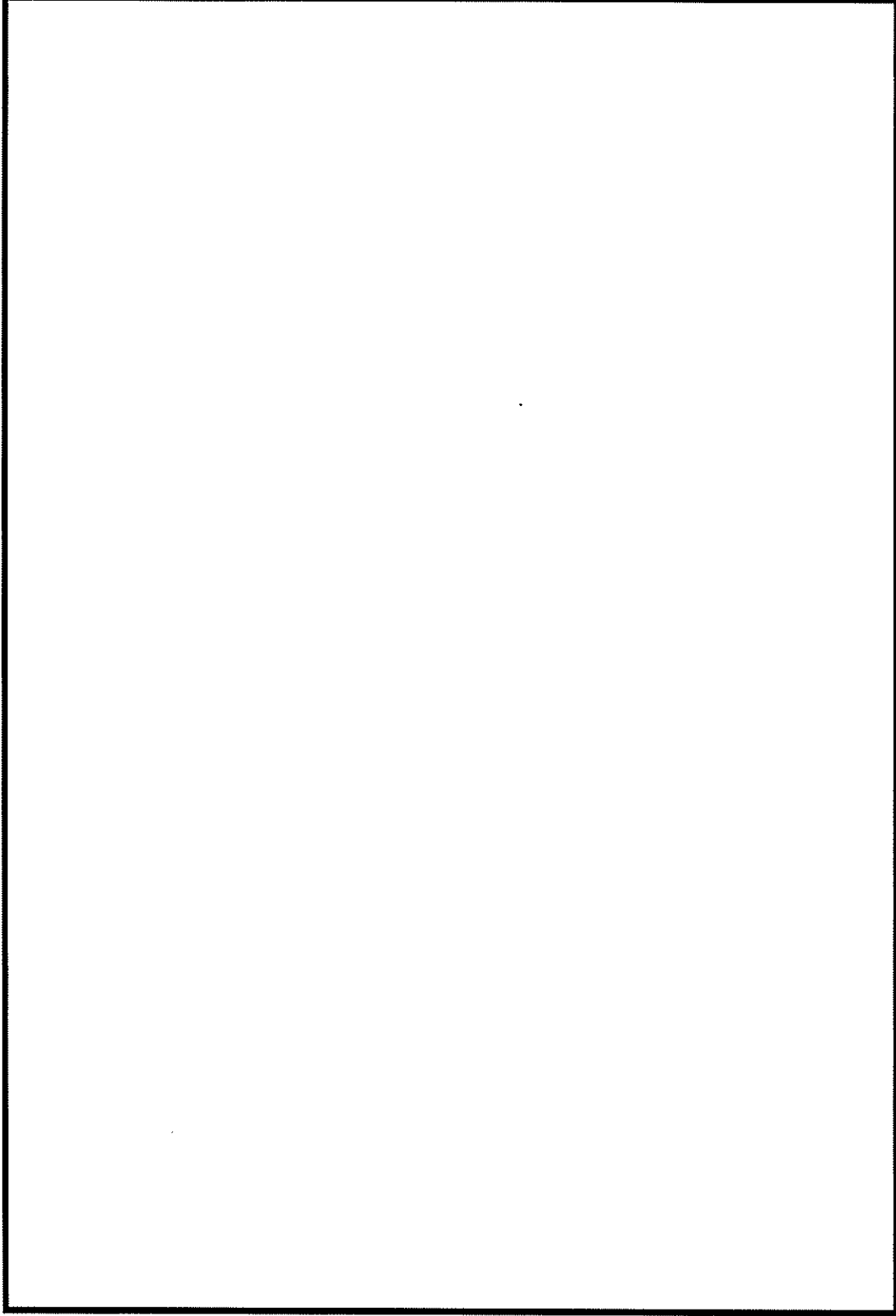
(1) 評価モデル

a. アンアベイラビリティ



[添付 3] 第 1 図 アンアベイラビリティ評価モデル

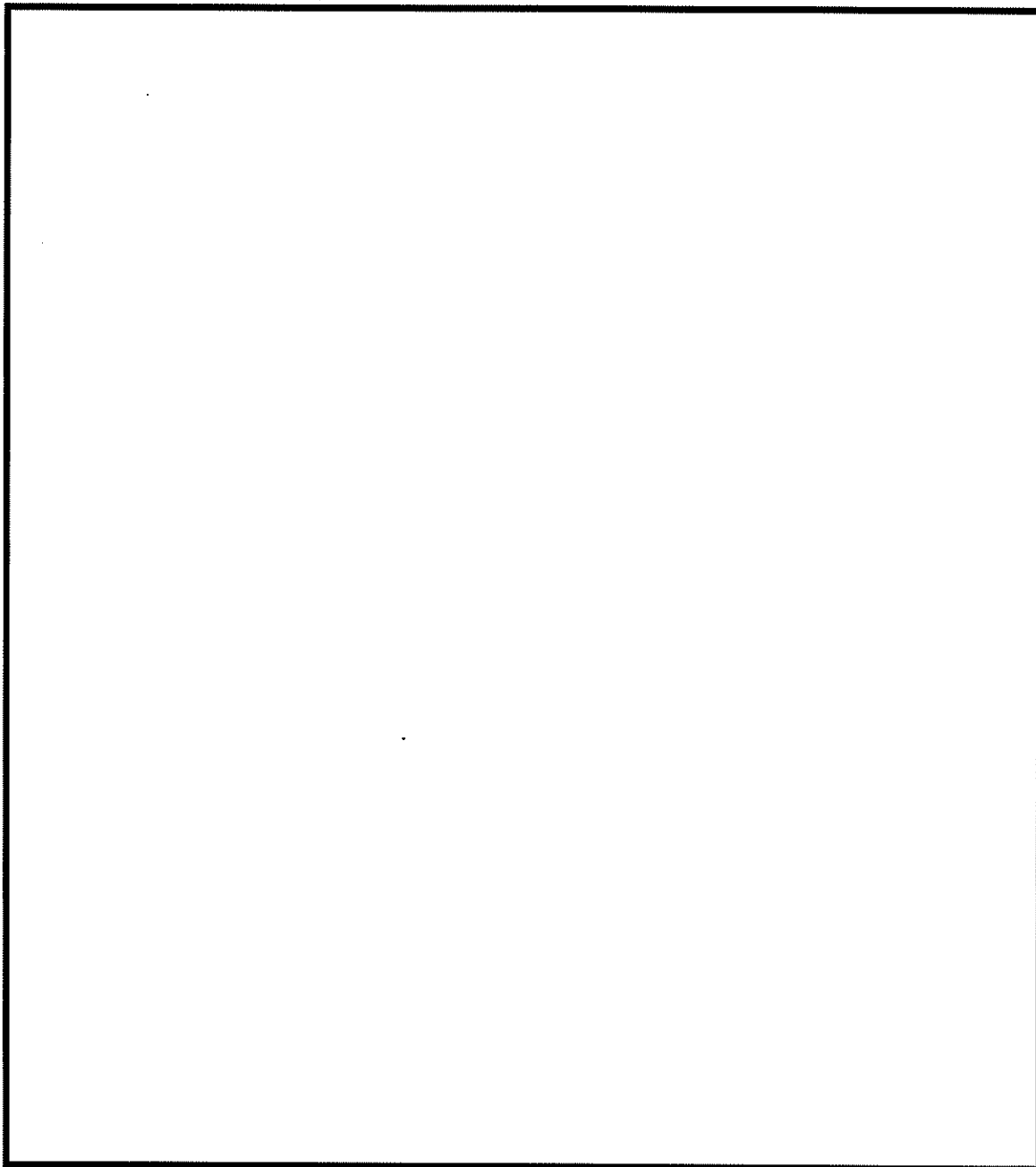
b. 誤動作率



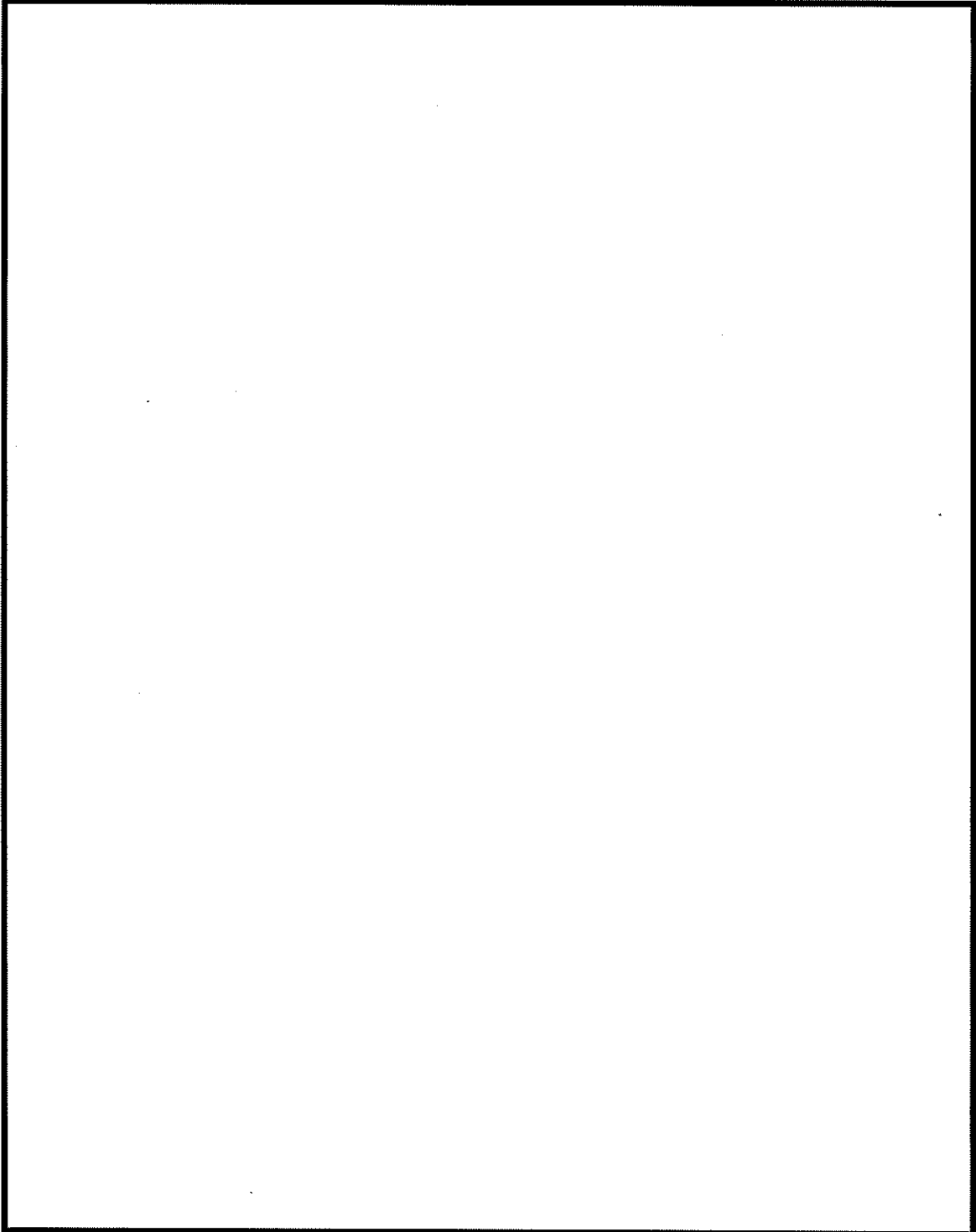
[添付3]第2図 誤動作率評価モデル

(2) 評価式

a. アンアベイラビリティ



b. 誤動作率



原子炉トリップ遮断器 2 トレンプラントの信頼性評価

1. 原子炉トリップ遮断器 2 トレンプラントのデジタル安全保護系の信頼性評価

--

[参考 1]第 1 表 原子炉トリップ遮断器 2 トレンプラントにおける信頼性評価

設備構成	変更前	変更後 <sup>**</sup>
信頼性	従来型アナログ設備	デジタル安全保護系
アンアベイラビリティ		
誤動作率		

※伊方 1, 2 号機 (認可日: 平成 20 年 11 月 28 日)

[参考 1]第 2 表 伊方 3 号機における信頼性評価の比較【再掲】

設備構成	変更前	変更後
信頼性	従来型アナログ設備	デジタル安全保護系
アンアベイラビリティ		
誤動作率		

[参考1]第3表 チャンネル部/トレン部別の信頼性評価

信頼性		アンアベイラビリティ	
		2トレンプラント	4トレンプラント
設備構成			
チャンネル部			
トレン部	ロジック部		
	RTB		
合計			

信頼性		誤動作率	
		2トレンプラント	4トレンプラント
設備構成			
チャンネル部			
トレン部	ロジック部		
	RTB		
合計			



安全保護系ロジック盤の有無による信頼性評価の比較

(1) 目的

デジタル安全保護系において、安全保護系ロジック盤を設ける場合と設けない場合の信頼性比較を行い、安全保護系ロジック盤の設置が安全保護系機能の信頼性に悪影響を与えないことを定量的に示す。

(2) 信頼性評価の比較

安全保護系ロジック盤を設ける場合と設けない場合の信頼性を[参考 2]第 1 表に示す。アンアベイラビリティ及び誤動作率のいずれについても、安全保護系ロジック盤の有無で有意な変化がないことから信頼性は同等以上と評価できる。なお、誤動作率は、安全保護系ロジック盤を設けることで若干の改善が図られる。一般的に、誤動作率は構成する機器が増加することで数値は上昇する傾向にあるが、本ケースについては、原子炉トリップ遮断器と接続する制御盤が、安全保護系計器ラックより故障率の低い安全保護系ロジック盤に変わることによって改善に寄与したものと考えられる。

[参考 2]第 1 表 安全保護系計器ロジック盤の有無による信頼性評価の比較

信頼性 \ 設備構成	安全保護系 ロジック盤：有り	安全保護系 ロジック盤：無し
アンアベイラビリティ [/demand]		
誤動作率 [/hr]		

現状設備（設定値比較のみデジタル化）における信頼性評価

(1) 目的

現状の安全保護系は、設定値比較器のみをデジタル化しており、新規制基準審査時に工事計画認可を受けている。この現状設備についての信頼性評価を行う。なお、評価にあたっては、第 2 表及び第 4 表の故障率を使用する。

(2) 信頼性評価の比較

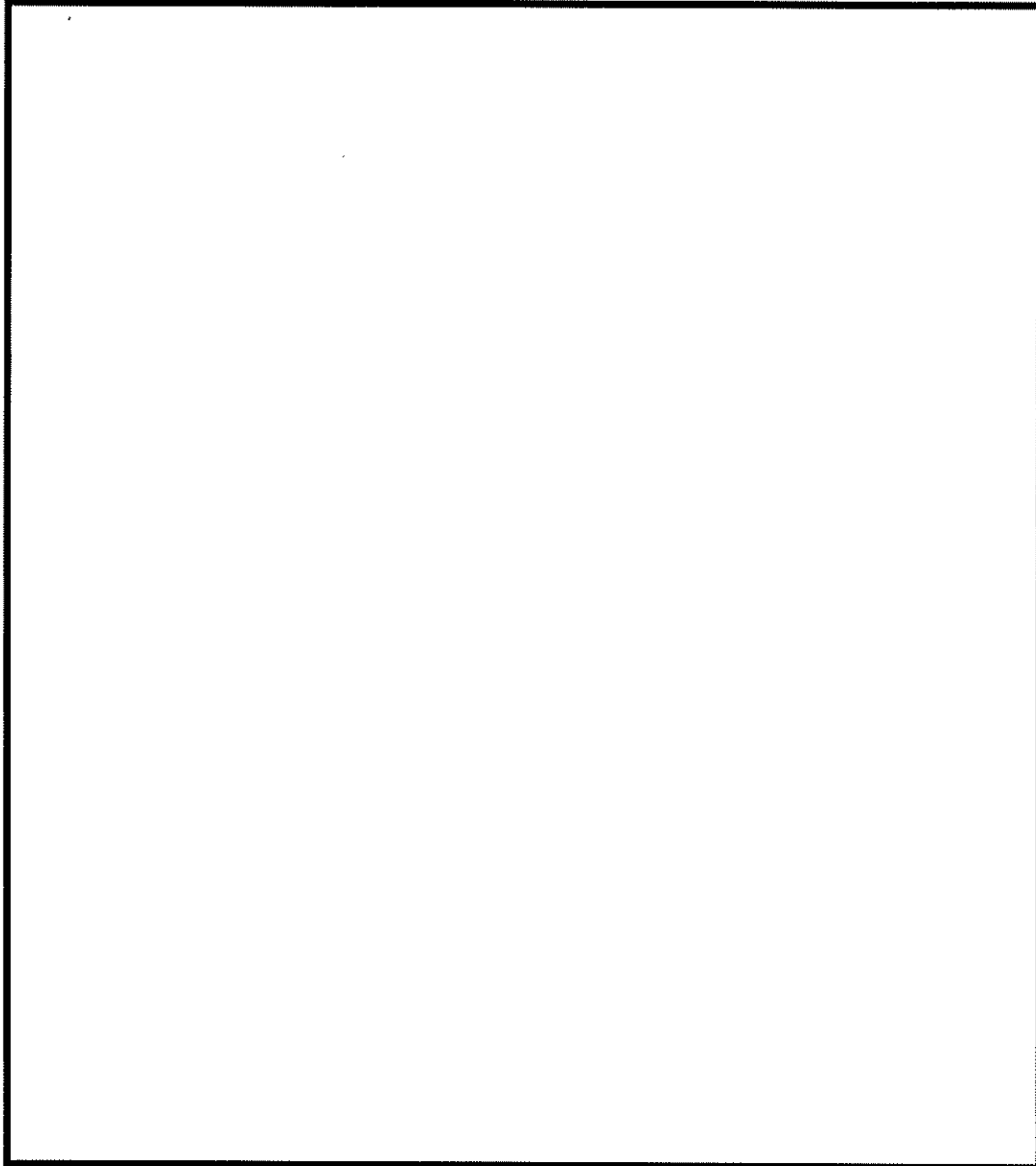
現状設備（設定値比較器のみデジタル化）に対して、変更後（論理演算回路をデジタル化）の信頼性は同等以上となっている。

[参考 3] 第 1 表 現状設備（設定値比較のみデジタル化）における信頼性評価

設備構成 信頼性	現状設備 (設定値比較のみデジタル化)	デジタル設備（変更後） (論理演算回路をデジタル化)
アンアベイラビリティ [/demand]		
誤動作率 [/hr]		

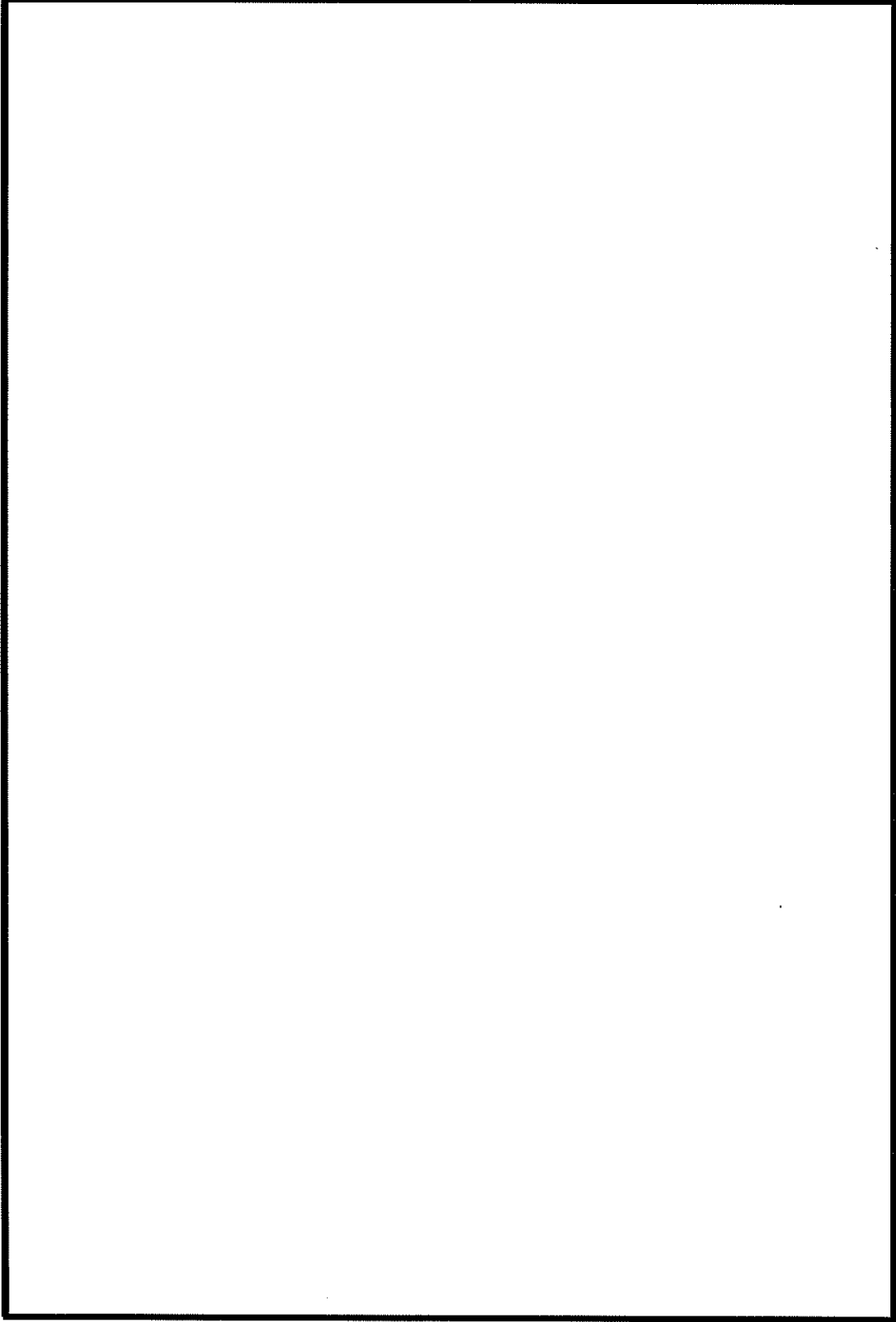
(3) 評価モデル

a. アンアベイラビリティ



[参考3]第1図 アンアベイラビリティ評価モデル

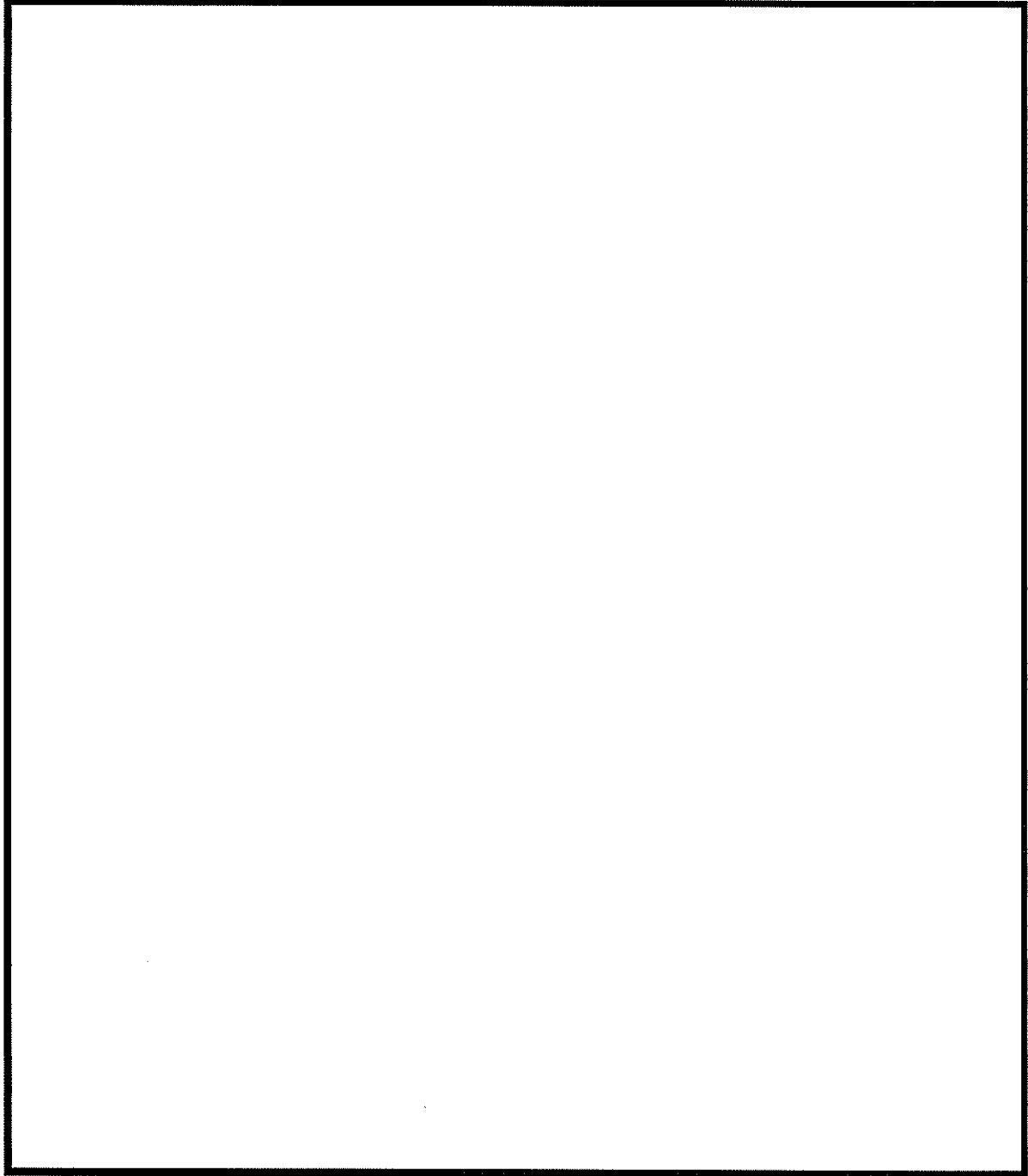
b. 誤動作率



[参考 3] 第 2 図 誤動作率評価モデル

(4) 評価式

a. アンアベイラビリティ



b. 誤動作率

