

巨大地震発生時、 原発はどうなるか

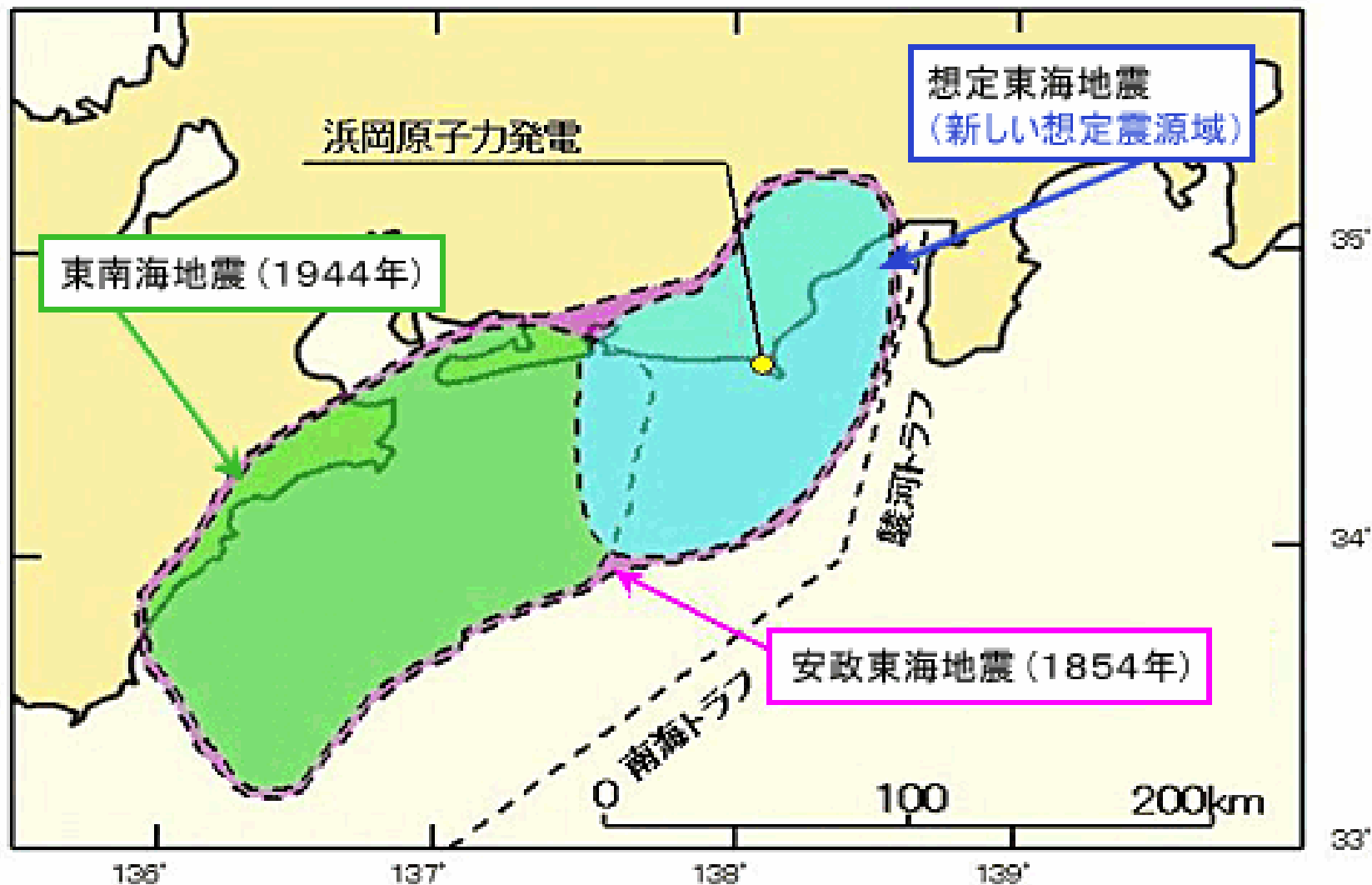
“十分な余裕をもって設計されている”
は本当か？

原子力資料情報室・公開研究会
2007年3月19日 田中三彦

中部電力浜岡原子力発電所



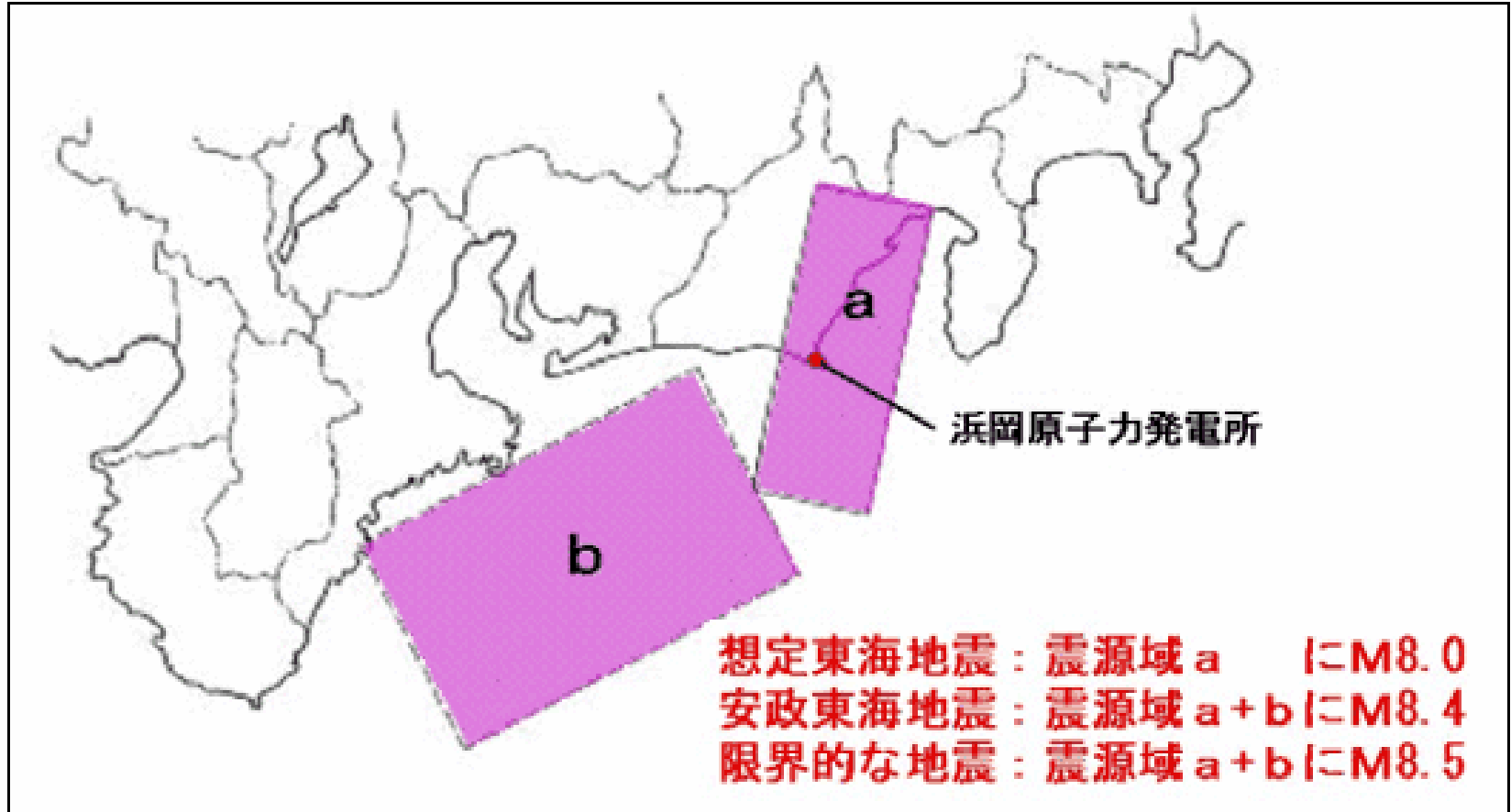
(写真は中部電力のホームページより)



※安政東海地震、東南海地震及び想定東海地震の震源域については、中央防災会議の震源域を基に作図。
 安政東海地震の震源域については、中央防災会議の東海+東南海地震の震源域による

想定東海地震の震源域

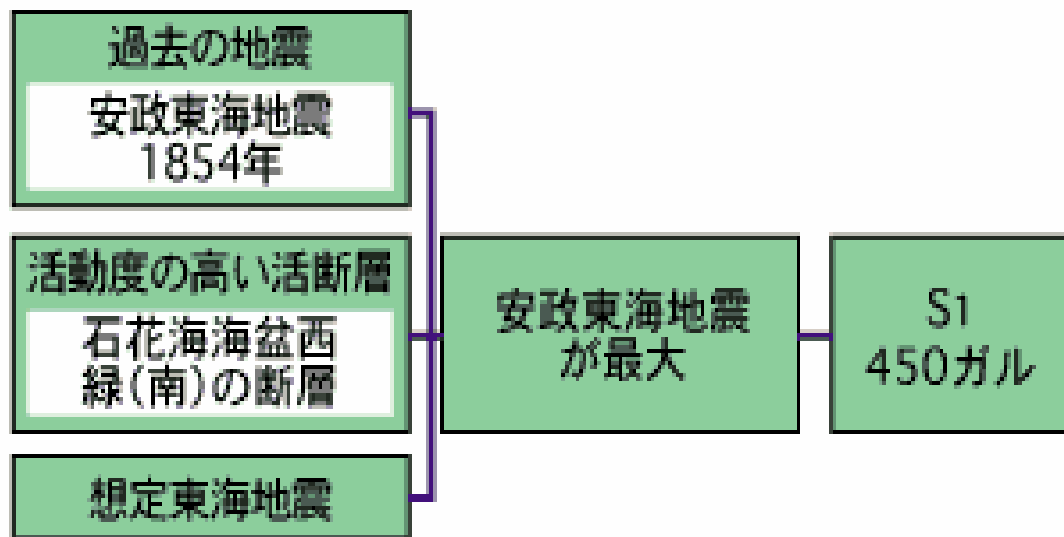
(中部電力のホームページより)



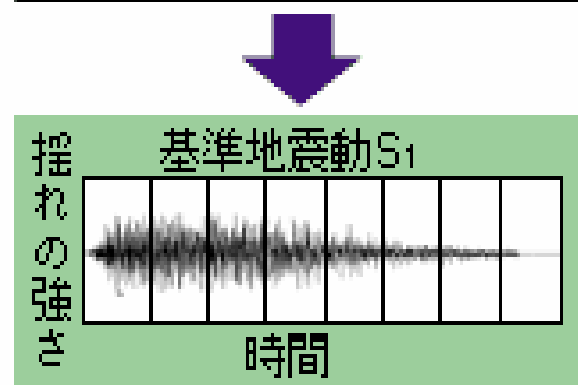
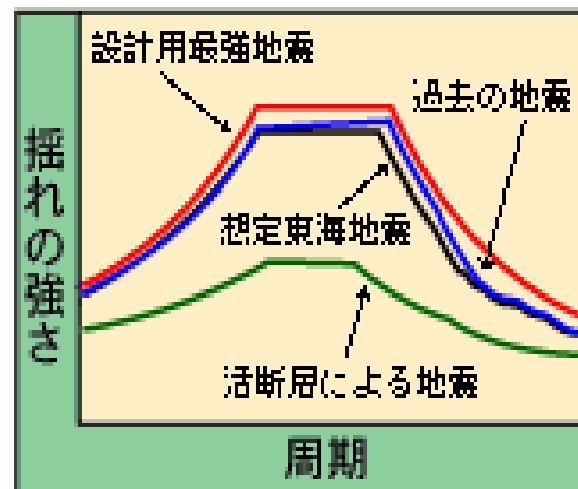
解析上の震源域のモデル化

(中部電力のホームページより)

将来起こりうる最強の地震による地震動として、過去の地震および過去1万年の間に活動した活断層による地震を対象に、それぞれ揺れの周期および強さを評価し、これら全てを上回るような地震動を設定します。これを設計用最強地震による基準地震動S1といいます。

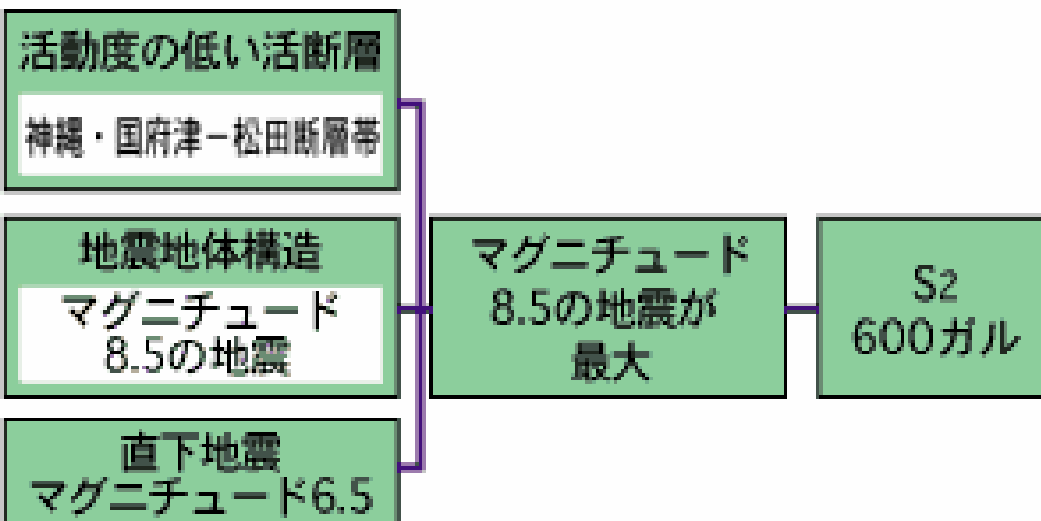


S1応答スペクトルの決定

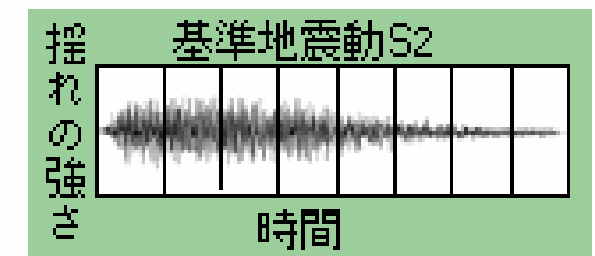
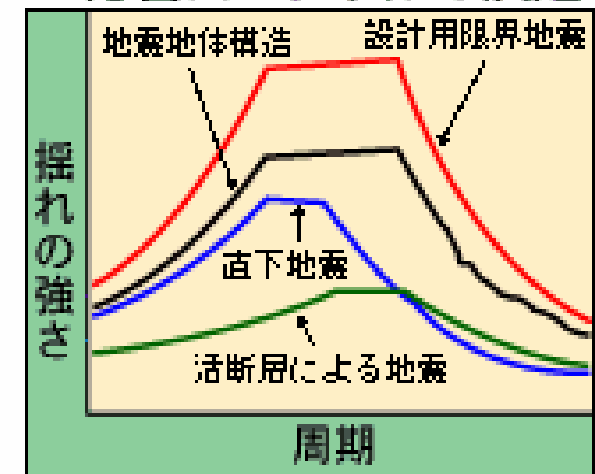


(中部電力のホームページより)

およそ現実的ではないと考えられる地震による地震動として、過去5万年の間に活動した活断層による最大の想定地震、地震地体構造から考えられる最大の地震、さらには直下地震を対象にそれぞれ揺れの周期および強さを評価し、これら全てを上回るような地震動を設定します。これを設計用限界地震による基準振動S2とします。



S2応答スペクトルの決定



(中部電力のホームページより)

中部電力の浜岡原発Q & A

Q6 原子力発電所の安全上重要な施設は、地震によって発生する応力が設計上の許容値を超えると、ただちに壊れるのですか。

(本文は中部電力ホームページより)

S2地震に対する“余裕”

安全上重要な施設の耐震設計で用いる応力の許容値は、壊れる限界に対して余裕をもたせて設定しています。

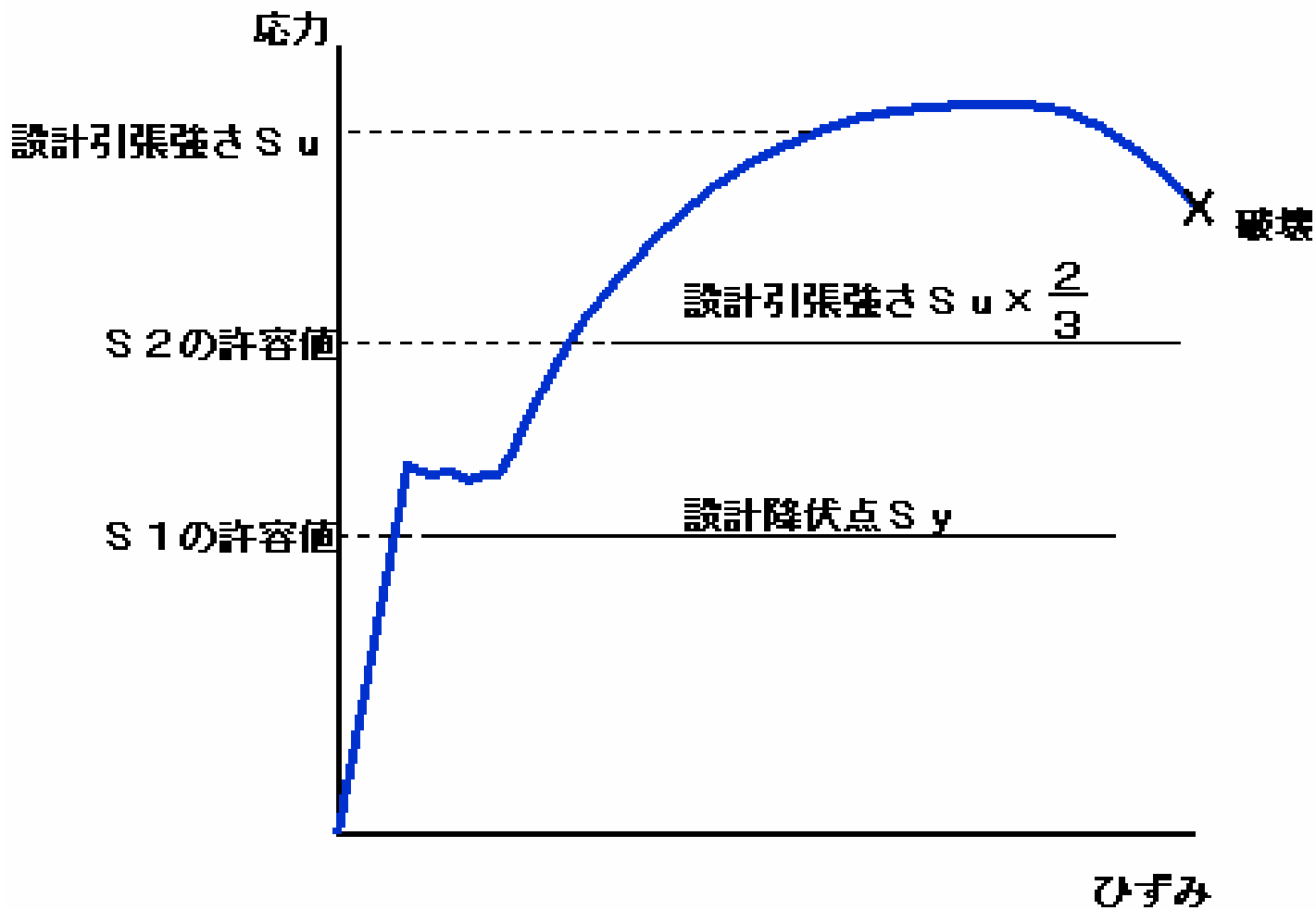
図に示すように、設計用限界地震(S2)によって発生する応力の許容値は、設計引張強さ S_u (これ以上力を加えると壊れる限界の応力)の $2/3$ にとどめ、余裕をもって設定しています。

S1地震に対する“余裕”

設計用最強地震(S1)によって発生する応力の許容値は、さらに余裕を持って、弾性の範囲(変形しても元の状態に戻る範囲)内に収まるように設定しています。

したがって、地震によって安全上重要な施設に発生する応力が、仮に設計用最強地震(S1)やS2の許容値を超えたとしても、ただちに壊れることはありません。

(本文は中部電力ホームページより)



(中部電力ホームページより)

機器・構造物の安全性の指標

安全率 (安全係数)

Safety Factor

(S.F)

安全率とはなんだろう？

事故が起きたときよく耳にする釈明

本当は、4倍の荷重にも耐えられるように設計されていたのだが...



言いたいことは？

「安全率は4だったのに...」

安全率 (S.F) を式で表すと・・・

$$S.F = W_u \div W_{max}$$

W_u : その部材が支えることのできる「**極限荷重**」

W_{max} : 設計上その部材にかけることを許されている「**最大許容荷重**」

荷重と応力について

A 断面積 100 mm^2 の棒に
10トンの荷重

B 断面積 1000 mm^2 の棒に
50トンの荷重

強度的に厳しいのはどちらか？

重要なのは応力

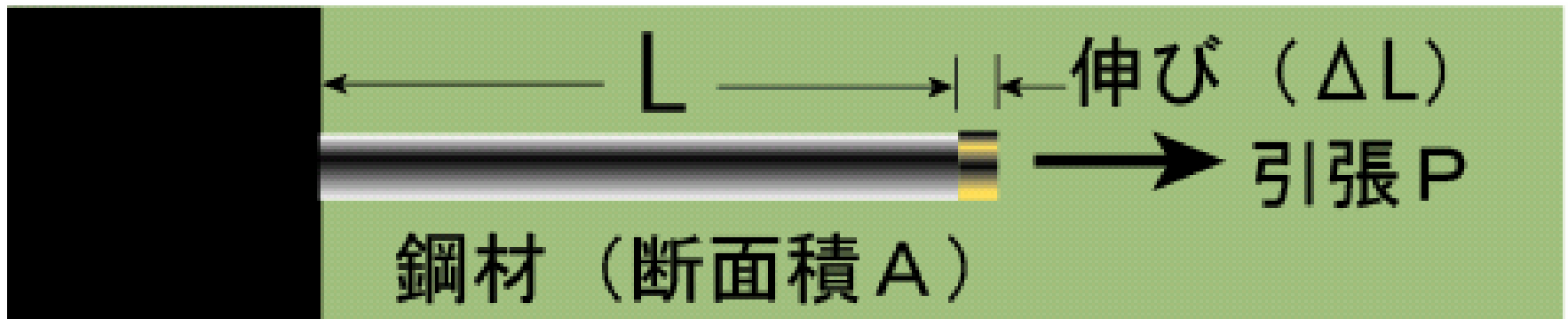
$$A: 10\text{ton} / 100\text{mm}^2 = 10\text{kg} / \text{mm}^2$$

$$B: 50\text{ton} / 1000\text{mm}^2 = 5\text{kg} / \text{mm}^2$$

単位面積当たりの荷重(力)を
応力という

(単位はふつう kg / mm^2)

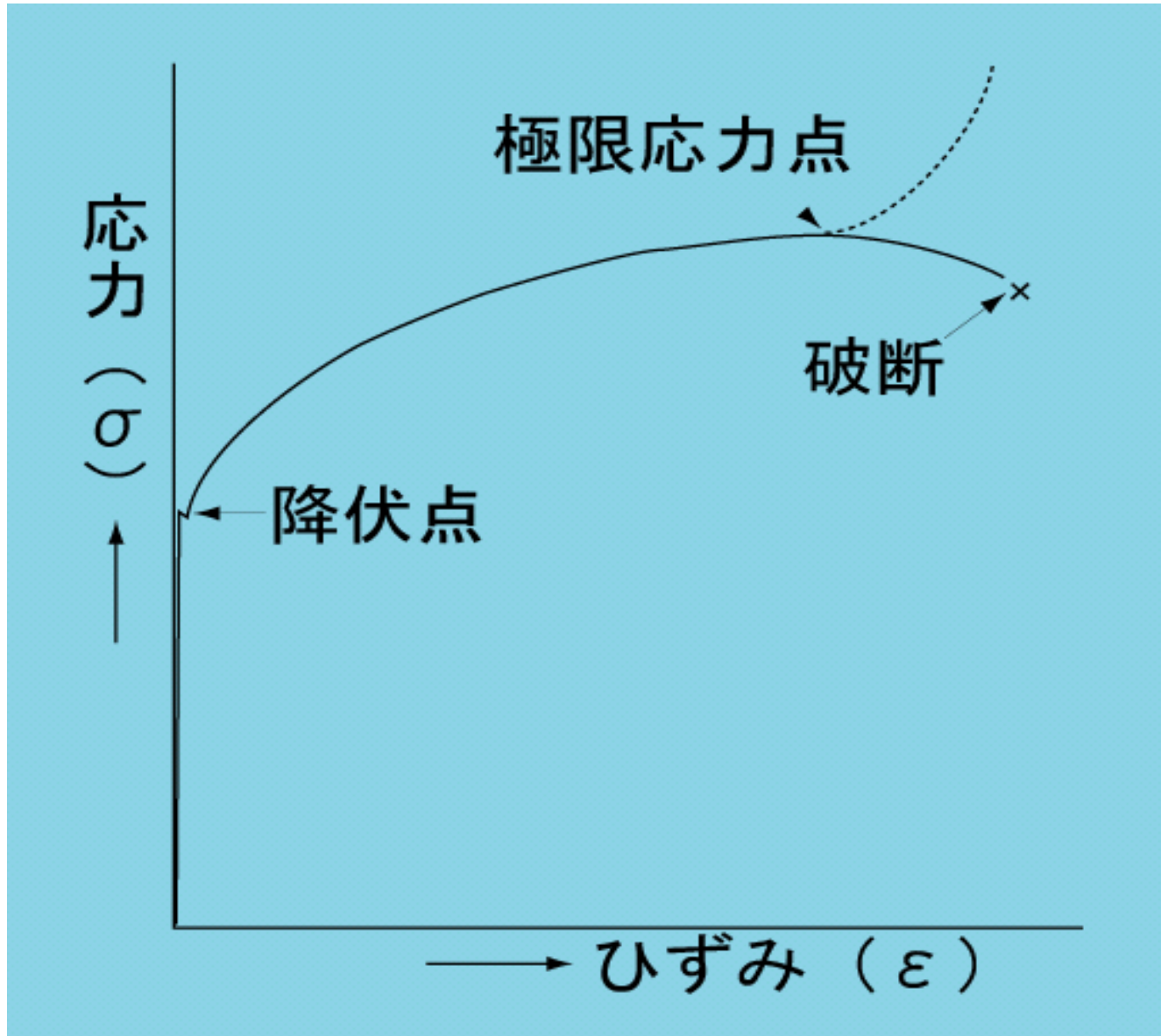
鋼の「応力ひずみ線図」について



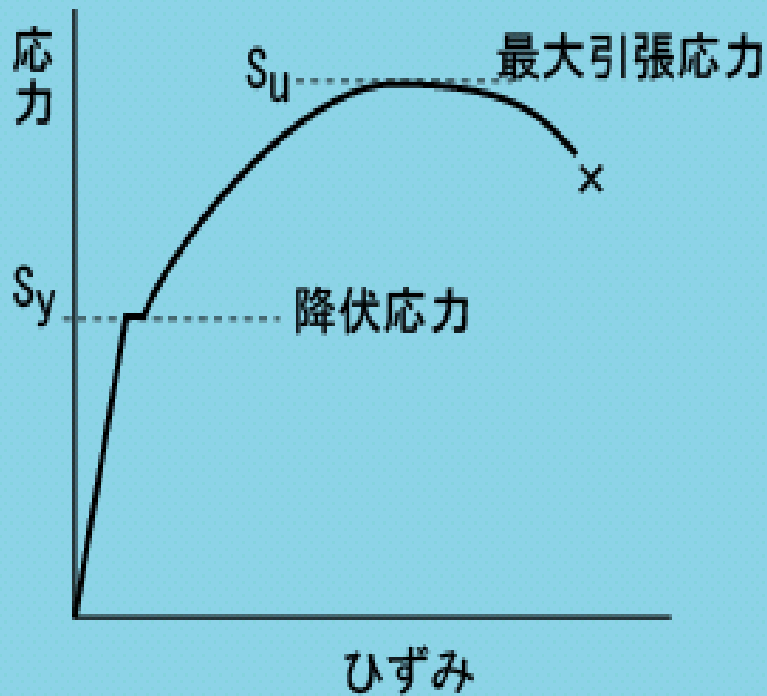
$$\text{応力} = P \div A$$

$$\text{ひずみ} = L \div L$$

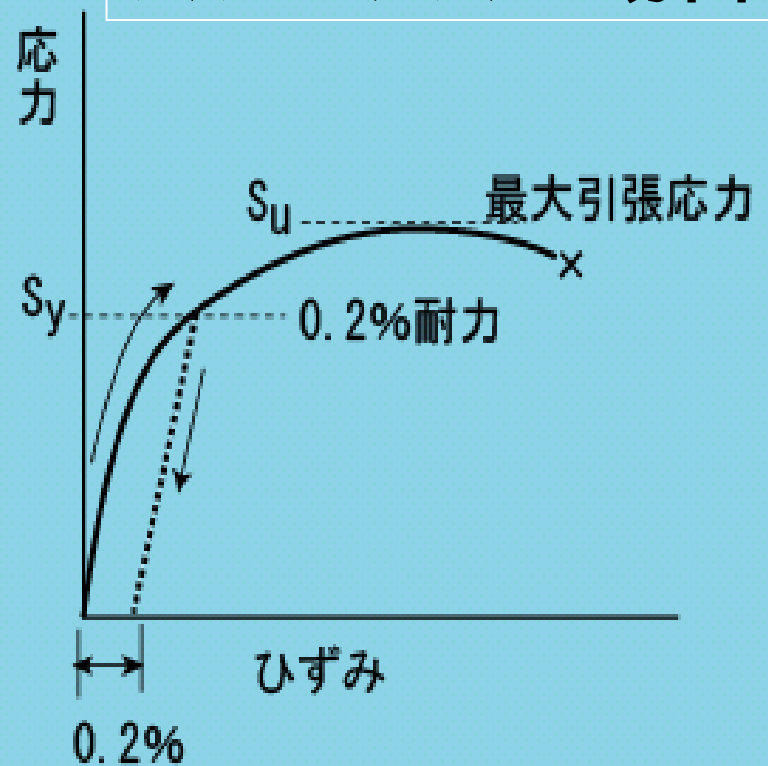
鋼の応力ひずみ線図の例



低合金鋼の場合



オーステナイト系 ステンレスの場合



許容応力とはなにか？

- 発生応力の上限値(それ以上大きな応力を発生させてはならない、という応力制限値)
- 材料の種類によって変わる。
- 温度によって変わる

火力発電、化学プラントの許容応力

つぎのうちの小さい方

(ただしクリープ現象が起こらない温度範囲)

- ・ 最大引張り応力 S_u の 4 分の 1
- ・ 降伏応力 S_y の 8 分の 5

原発重要機器の許容応力

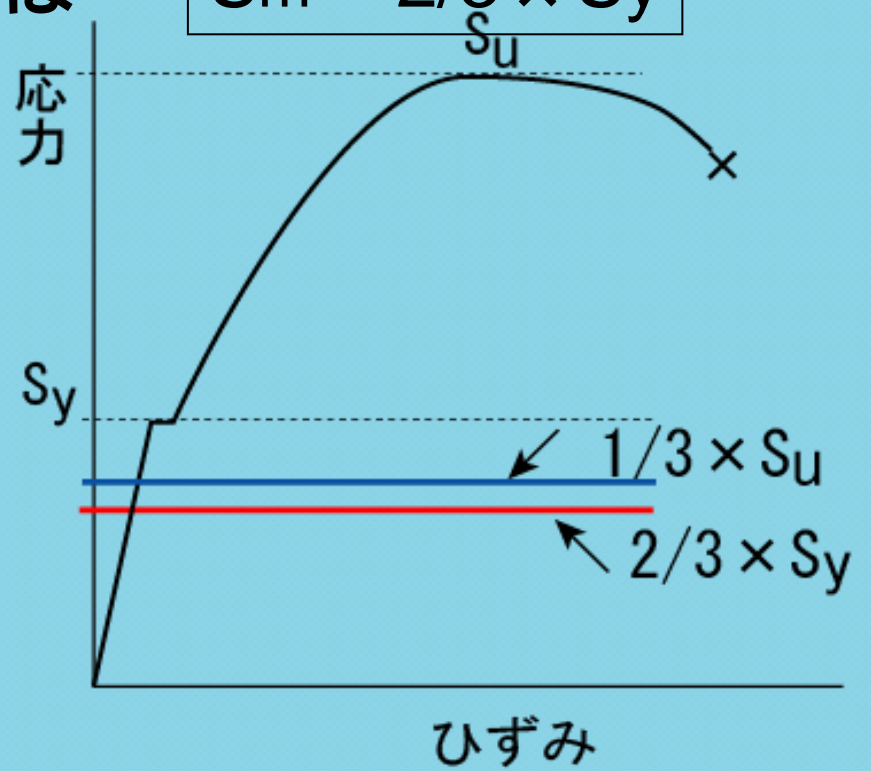
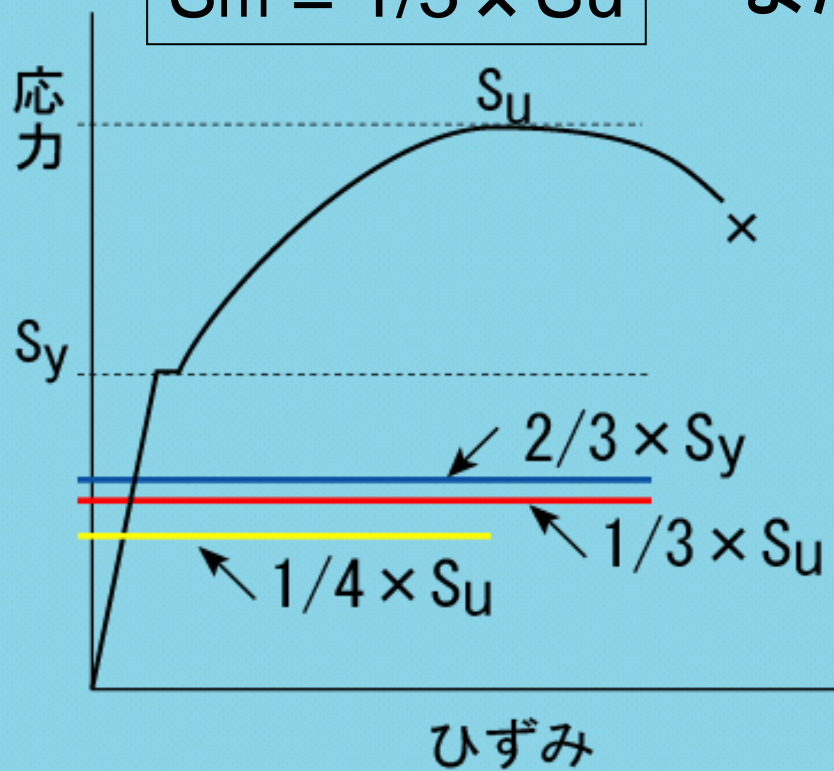
つぎのうちの小さい方

- ・ 最大引張り応力の3分の1
- ・ 降伏応力の3分の2

$$S_m = 1/3 \times S_u$$

または

$$S_m = 2/3 \times S_y$$



厳密な安全率の定義

$$S.F = S_u \div S_a$$

S_u : 材料の最大引張り応力

S_a : 材料の許容応力

- ・ 原発の安全率は3
- ・ 火力発電、化学プラントは4
- ・ 原発は安全率が低く設定されている

注意すべき問題

- 安全係数をなぜ4から3に落としたのか
 - ・出力増大に伴う原発の大型化を避ける
 - ・圧力容器の鋼が厚くなることを避ける
- 安全係数をなぜ4から3に落とせたのか
- 安全係数を落として問題はなかったか

安全係数をなぜ4から3に落とせたのか (安全率低減に対する前提条件)

- 「解析による設計」(Design By Analysis)
 - ・ 設計荷重や運転中の荷重によって機器に生じる応力の詳細を「理論計算」で明らかにする
 - ・ 考えられる損傷や破壊様式をすべてチェックする
- 材料、設計全般、製造、検査、などの質を上げる(品質管理の徹底)

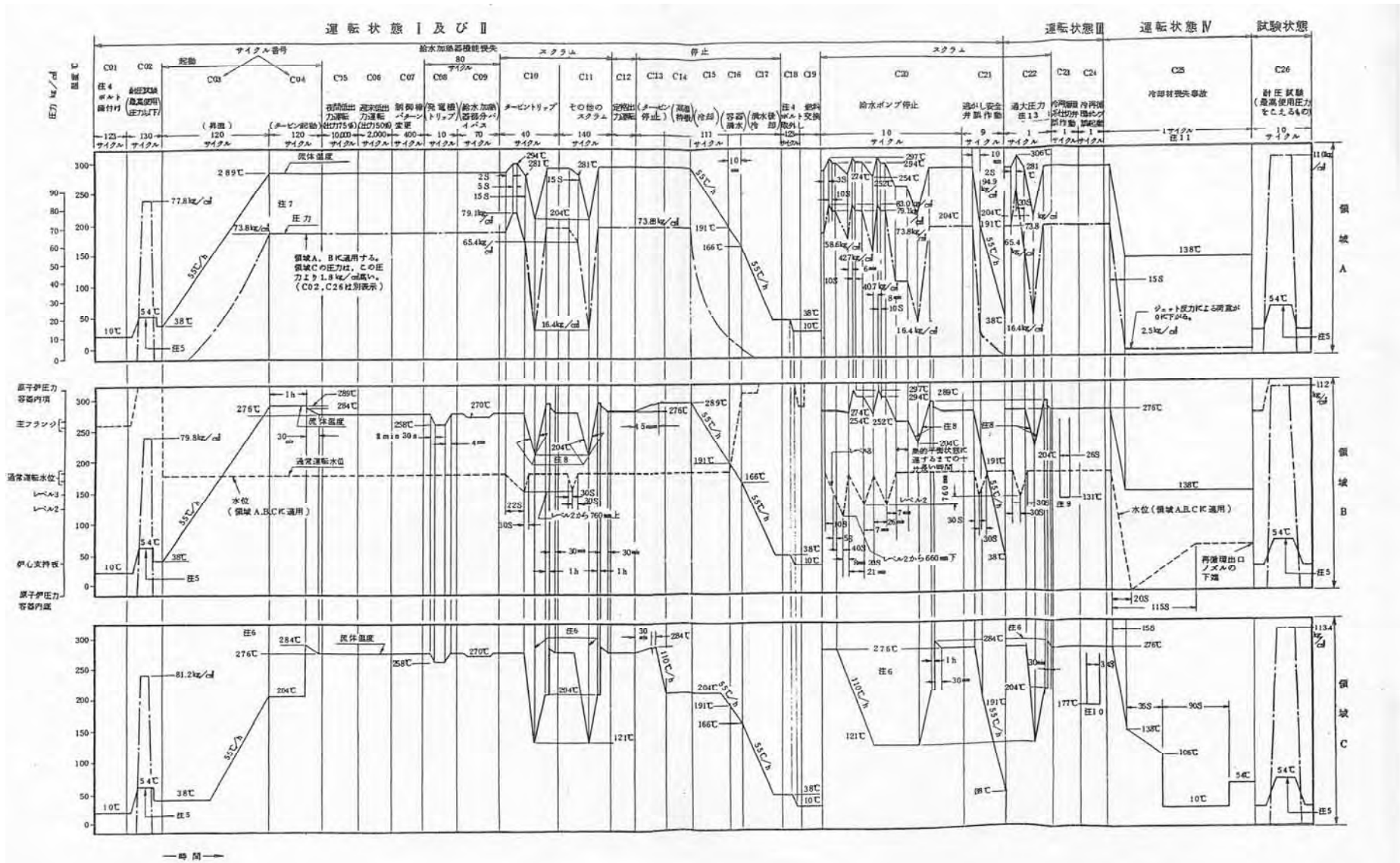
安全係数を落として問題はなかったか (前提条件は妥当だったか)

- 設計時の応力解析がまったく信頼できない

給水ノズル、制御棒駆動水戻りノズル、
などの熱疲労損傷事故が多発

- 材料の選択が不適切
応力腐食割れ(SCC)事故が多発

原子炉压力容器熱サイクル図



- 運転状態
原発が正常に動作している状態(起動、停止、出力運転、夜間低出力運転、高温待機、など)
- 運転状態
運転員の誤操作や機器の異常などによって正常な状態からはずれた状態(タービントリップ、給水加熱器機能喪失、逃し安全弁誤動作、など)
- 運転状態
正常状態からかなりはずれた状態でその状態の修復や損傷部の修理のために緊急に運転を停止する必要がある状態(過大圧力、再循環系停止ループ誤起動、再循環停止ループ仕切り弁作動、など)。
- 運転状態
きわめて確率の低い仮想的事象(冷却材喪失事故、主蒸気管破断事故、など)

運転状態と安全裕度 (その1)

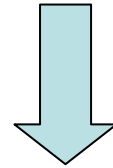
- 運転状態はつぎの四つ
 - 「通常状態」(運転状態)
 - 「異常状態」(運転状態)
 - 「緊急状態」(運転状態)
 - 「損傷状態」(運転状態)
- 原発の設計の重要な特徴の一つは、「運転状態」により「安全裕度」を変えていること。

運転状態と安全裕度 (その2)

- ・ 運転状態 に対しては基本的に安全率3をベースに設計している
- ・ 運転状態 に対しては発生応力を降伏応力レベルまで許している
- ・ 運転状態 に対しては発生応力が降伏応力を超えることを許している

運転状態と安全裕度 (その3)

- ・ 運転状態 に対しては発生応力が降伏応力を超えることを許している



「俗に言う “壊れなければいい” という発想」

『原子力発電プラントの構造設計』より

地震荷重の安全評価方法

S1地震動を運転状態、と組み合わせる
降伏レベルまで許容

S1地震動を冷却剤喪失事故の直後を除き、
その後の運転状態と組み合わせる
降伏レベルまで許容

S2地震動を運転状態、と組み合わせる
降伏することを許容

