

2018年8月23日

JASMiRT 第2回国内ワークショップ

# システム化規格概念に基づく 液体金属炉用供用期間中検査規格 ASME Code Case N-875

日本原子力研究開発機構  
新型炉・高速炉開発部門 大洗研究所  
高速炉サイクル研究開発センター  
浅山 泰

# 内容

- ASME Code Case N-875策定の背景
- その概要
- 新しい概念の導入
- 書面投票時の議論
- 日本機械学会での高速炉規格の整備状況

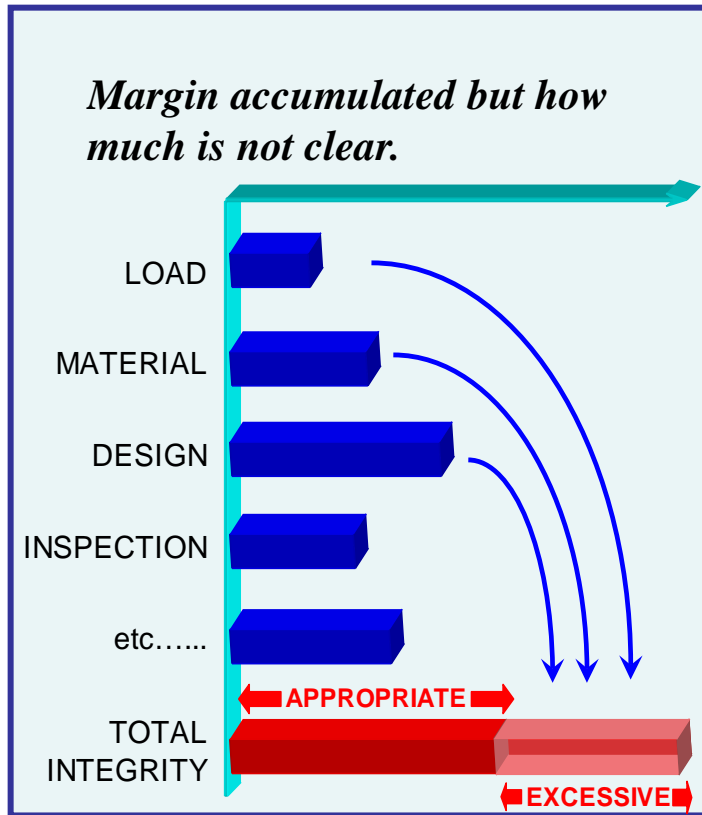
# ASME Code Case N-875

- 液体金属炉(特にナトリウム冷却高速炉)用に最適な維持規格の骨格がASME Boiler and Pressure Vessel CodeのCaseとして発刊されたもの。
- ASMEボイラー及び圧力容器規格委員会 Section XI ASME/JSME Joint Task Group for System Based Codeにて原案作成。
  - 2012年に設立。Special Working Group on Reliability and Integrity Management of Section XI Division 2の下部組織。メンバー:JSME側9名、ASME側6名
- システム化規格概念を指導原理として開発。
- 2017年5月に承認された。

# 策定の背景

- ASME B&PV Code Section XI Division 3, Inservice Inspection of Liquid Metal CooledはClinch River Projectのために策定されたもの。
- ただし、1980年代のプロジェクトの中断により完成には至らずその後のメンテナンスもされていない。
- その内容は液体金属炉の特徴を踏まえたものであるが、最新技術を踏まえれば、さらに合理化の余地がある。
- JSMEではシステム化規格概念を検討中であるとともに、ナトリウム冷却高速炉用の維持規格の策定中である。
- JSMEとASMEの協働が最も効果的である。

# システム化規格概念



*Target reliability is determined first.*

# Features of FBR

## - Comparison between LWR and FBR -

	LWR (PWR)	FBR (Monju)	Features of FBR
<b>Coolant material</b>	Water	Sodium	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Thermal stresses are relatively high but internal pressure is negligible</li> <li>- Invisible in sodium but corrosion of structural materials is negligible</li> </ul>
<b>Reactor outlet temp.</b>	~ 320°C	529°C	
<b>Temp. difference between reactor outlet and inlet</b>	~ 30°C	132°C	
<b>Operating pressure</b>	~ 16 MPa	~ 1 MPa	
<b>Thickness of RV</b>	~ 200 mm	~ 50 mm	
<b>Ratio of ID to thickness of RV</b>	~ 20	~ 140	

# 代替規定を要するDivision 3規定

- VTM-2: ナトリウムバウンダリの溶接継手
  - 該当する条件下では、漏えい監視で十分: TABLE IMB-2500-1, B-A, B-B, B-J-1, B-J-2
- VTM-3: 炉内構造物
  - 該当する条件下では、VTM-3を免除可能: TABLE IMB-2500-1, B-N
- システム化規格概念に基づき、「該当する条件」を明確化する。

# Code Case N-875の構成

- 本体:
  - 代替規定とそれが適用可かどうか判定するための規定（ロジックフロー）。劣化メカニズム一覧表を含む。
- Mandatory Appendix:
  - I: プラントの安全要求に基づく機器の目標信頼性の導出
  - II: 液体金属冷却炉の静的機器の構造信頼性評価法



# Code Case N-875

## **Code Case N-875, Alternative Inservice Inspection Requirements for Liquid-Metal Reactor Passive Components Section XI, Division 3**

**Inquiry:** Under what conditions may the System Based Code (SBC) be used to determine alternative examinations to Table IMB-2500-1, Examination Categories B-A, B-B, B-J-1, B-J-2, and B-N, when examining Class 1 liquid-metal-retaining components and their integral attachments in accordance with Section XI, Division 3, IMB-2500?

**Reply:** It is the opinion of the Committee that the examination methods shown in Tables 2A through 2E of this Case may be used as an alternative to the methods shown in Table IMB-2500-1, Examination Categories B-A, B-B, BJ-1, B-J-2, and B-N, provided the following requirements are met.

# 本体: Example – B-A

Table 1 Alternative requirements to TABLE IMB-2500-1 EXAMINATION CATEGORIES, B-A

Table 2A Alternative Requirements to Table IMB-2500-1 – Examination Category B-A				
EXAMINATION CATEGORY B-A, LIQUID-METAL-RETAINING WELDS IN VESSELS PROTECTED BY GUARD				
Item No.	Parts Examined	Examination Method [Note (1)]	Acceptance Standard	
B1.10	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reactor Vessel</li> <li>- Longitudinal and Circumferential Shell Welds</li> <li>- Meridional and Circumferential Head Welds</li> <li>- Shell-to-Flange Welds</li> <li>- Shell-to-Head Welds</li> <li>- Nozzle-to-Vessel Welds</li> <li>- Nozzle-to-Pipe Welds</li> </ul>	Continuous monitoring [Note (3)] [Note (4)]	[Note (5)]	
B1.20	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primary Pump Tanks [Note (2)]</li> <li>- All Liquid-Metal-Retaining Welds (Including Nozzle to Tank and Nozzle-to-Pipe)</li> </ul>	Continuous monitoring [Note (3)] [Note (4)]	[Note (5)]	All Welds
B1.30	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intermediate Heat Exchanger [Note (2)]</li> <li>- All Liquid-Metal-Retaining Welds in Shell</li> <li>- Nozzle-to-Shell Welds</li> <li>- Tubesheet-to-Shell Welds</li> </ul>	Continuous monitoring [Note (3)] [Note (4)]	[Note (5)]	All Welds

NOTES:

(1) The system design shall consider the access requirements for performance of alternative or additional examinations to those specified herein if structural defects or indications are revealed that might require such examinations.

(2) Pertains to components in loop-type primary systems, not to immersed components in pool-type primary systems.

(3) Shall be provided by installed leak detection systems capable of monitoring the exterior of a liquid-metal-containing systems and providing visual and audible alarms when leakage of liquid metal occurs.

(4) It is not the intent that all leak detectors be in service 100% of the time. The maximum percentage of leak detectors that may be out of service at any one time shall be specified in the Technical Specifications.

(5) Leakage indications shall be evaluated as confirmed or unconfirmed in accordance with the procedure determined by the Owner in advance, including the time for confirmation of leakage. Leakage indications shall be evaluated as confirmed if confirmation takes longer time than the determined time. Confirmed liquid metal leaks shall be cause for immediate shutdown of the system. The system shall be unacceptable for service until the source of the indicated leak has been identified and isolated, or repaired; the component containing the indicated leak shall be unacceptable for service until the leak has been repaired. Unconfirmed indications shall be considered faults of the monitoring system, and the leak detectors shall be repaired to meet the minimum percentage of working leak detectors required in [Note (4)].

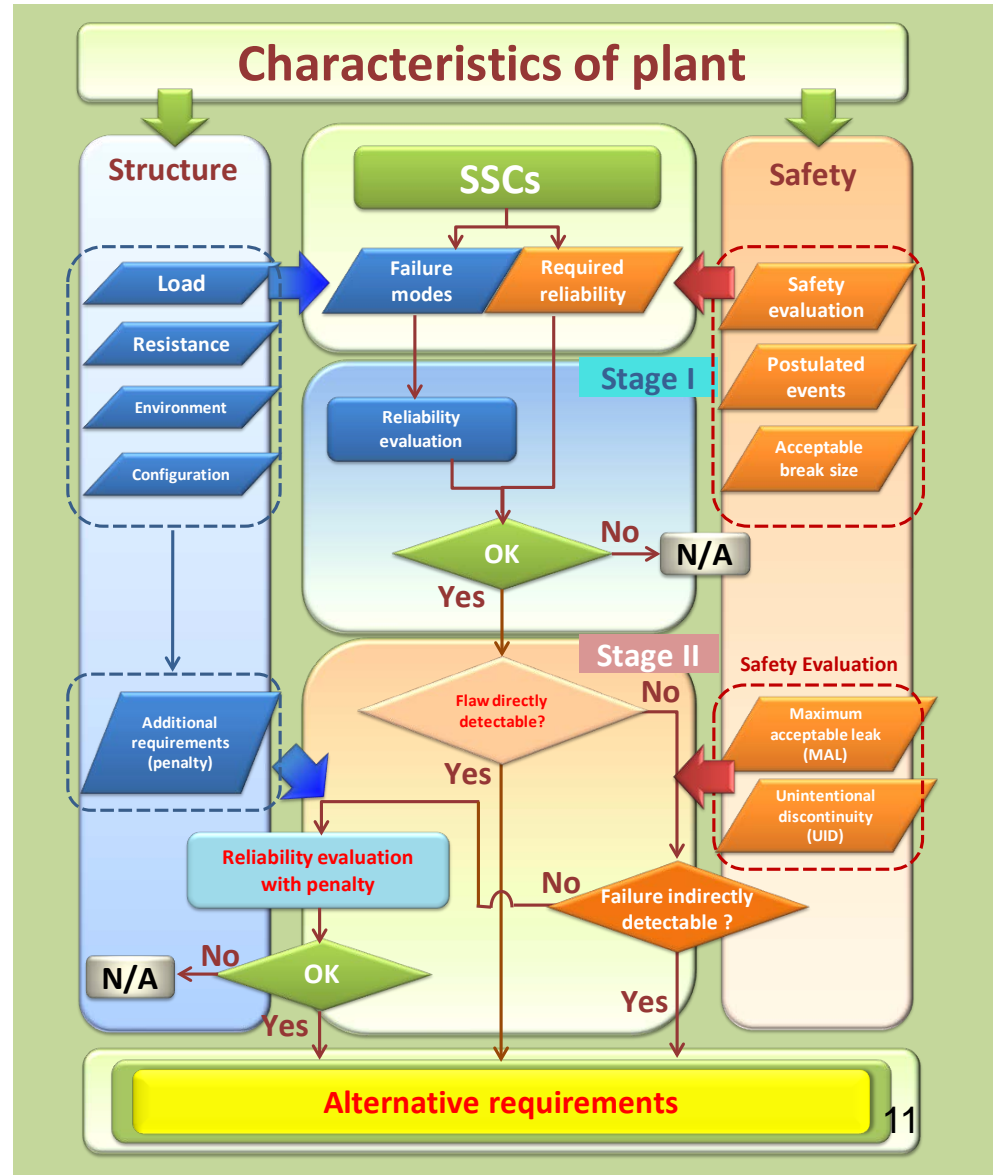
VTM-2を  
免除した

# 本体: ロジックフロー

- 目的の異なる2段階の評価により構成

(a) Stage I: 設計ベースでの構造信頼性に関わる評価。ISIの効果は考慮しない。

(b) Stage II: 安全に関わる評価。欠陥の検出性評価を行い、欠陥が最大許容寸法に達する前に検知可能であることを確認する。安全評価で考慮された機器の安全機能を考慮する。すべての欠陥は直接または間接的に検知されなければならない。間接的検知方法には、漏えいの検知、温度や流速等のプラントパラメータの不連続的变化が含まれる。欠陥がいずれの方法によっても検知できない場合は、より高い構造信頼性が求められる。



# 劣化メカニズム 一覧表

- ナトリウム冷却高速炉で生じる可能性のある劣化メカニズムの表
  - 高速炉、軽水炉の運転経験を総合的に踏まえて作成
  - ASME Section XI Division 1のテーブルと同じフォーマットで作成 (Table R-S2-1 of ASME Section XI, Division 1)

Degradation Mechanism	Degradation Features	Attribute Criteria	Susceptible Regions
TF	crack initiation and propagation	- potential for mixing of hot and cold fluids at core outlet, - potential for liquid level turbulence, - potential for inflow of cold fluid to hot outlet plenum during a scram transient, OR - potential for relatively rapid temperature change	base metal, heat affected zone (HAZ), and welds
VF	FIV crack initiation and propagation	- high flow, and - absence of vibration damping structures	base metal, HAZ, and welds
	MF crack initiation and propagation	- presence of attached vibration sources (e.g. pumps, compressors)	base metal, HAZ, and welds
	FW thinning	- relative sliding motion between two contacting surfaces, and - absence of a relevant surface treatment	contacting surface
CR	FAC thinning	- high flow velocity, and - absence of a relevant surface treatment	surface contacting with liquid metal
	CV thinning	- high flow velocity, and - absence of a relevant surface treatment	surface contacting with liquid metal
	SEE thinning	- contacts with liquid metal, and - operating temperature > 400°C (752°F)	surface contacting with liquid metal
HTD	CP crack initiation and propagation	- operating temperature > 375°C (707°F) (ferritic materials), 425°C (797°F) (austenitic stainless steels); and - stress is present	base metal, HAZ, and welds
	FCI crack initiation and propagation	- operating temperature > 375°C (707°F) (ferritic materials), 425°C (797°F) (austenitic stainless steels); and - cyclic stress is present	base metal, HAZ, and welds
	CE reduction in ductility and toughness	- operating temperature > 375°C (707°F) (ferritic materials), 425°C (797°F) (austenitic stainless steels); and - stress is present	base metal, HAZ, and welds
DEP	NIE - reduction in ductility and creep strength - increase in creep strain rate	- neutron irradiation environment	base metal and welds
	TA reduction in ductility and toughness	- operating temperature > 375°C (707°F) (ferritic materials), 425°C (797°F) (austenitic stainless steels)	base metal, HAZ, and welds
DF	SR development of deformation	- operating temperature > 375°C (707°F) (ferritic materials), 425°C (797°F) (austenitic stainless steels); and - secondary stress is present	base metal, HAZ, and welds
	RD development of deformation	- constant static stress is present, and - cyclic stress reaching plastic range is present	base metal, HAZ, and welds
LS	reduction in bolt-tightening force	- stress is present, and - absence of a rotation lock	bolt

Legend:

Thermal Fatigue (TF)	Cavitation (CV)	Neutron Irradiation Effect (NIE)
Vibration Fatigue (VF)	Sodium Environmental Effect (SEE)	Thermal Aging (TA)
Flow Induced Vibration (FIV)	High Temperature Degradation (HTD)	Deformation (DF)
Mechanical Fatigue (MF)	Creep (CP)	Stress Relief (SR)
Fretting Wear (FW)	Fatigue Creep Interaction (FCI)	Ratcheting Deformation (RD)
Corrosion (CR)	Creep Embrittlement (CE)	Looseness (LS)
Flow-Accelerated Corrosion (FAC)	Degradation Enhancement Phenomena (DEP)	

# 新しい概念の導入

用語	意味
Maximum Accepted Leak (MAL)	最大許容漏えい(安全に影響を及ぼさない漏えい)
Unintentional Discontinuity (UID)	意図せぬ不連続な変化(冷却材の流量や温度などの変化)
Additional Requirement	直接的にも間接的にも欠陥の検知が不可能な場合に追加で要求される事項

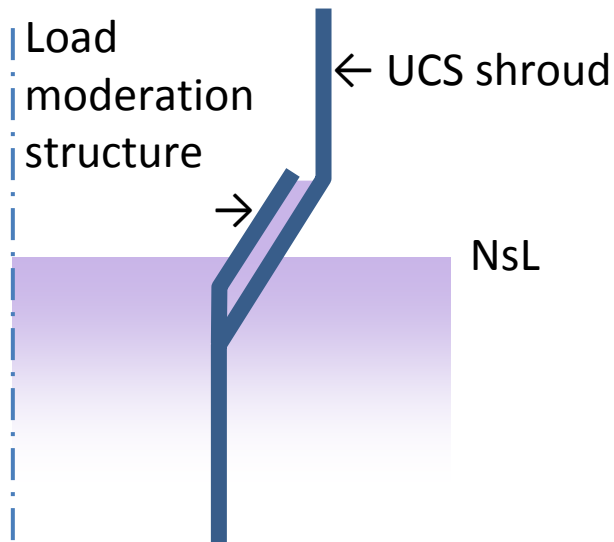
# Additional Requirement for UCS

(炉上部機構の例)

UCS shroud has a structure to reduce thermal stress due to start-up and shutdowns.



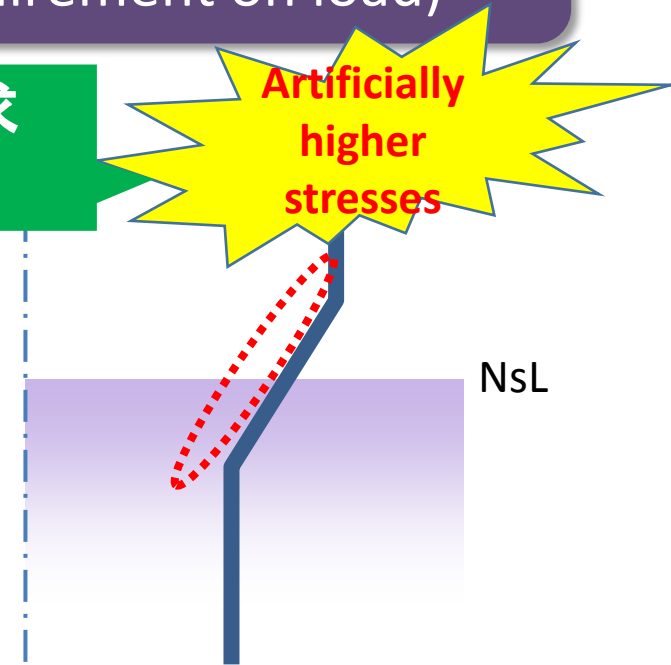
Evaluation using stresses without load moderation structure is additionally required. (Additional requirement on load)



Actual structure



追加要求  
(荷重)



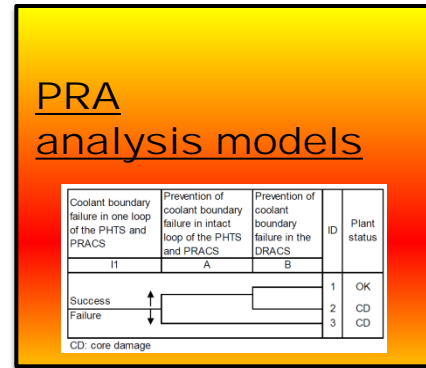
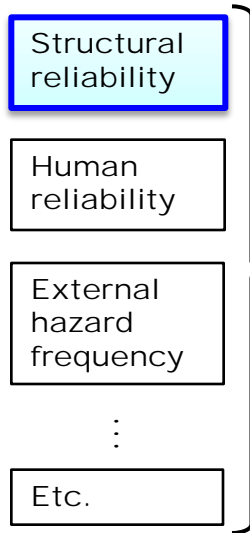
Assumed structure  
for additional requirement<sup>14</sup>

# Mandatory Appendix I

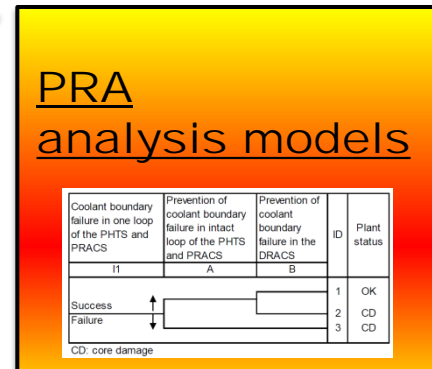
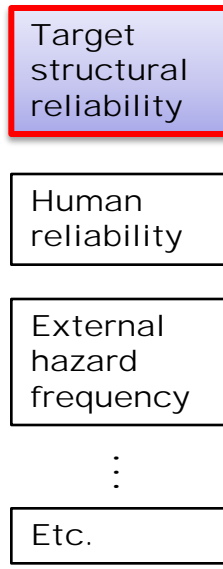
- プラントの安全要求に基づく機器の目標信頼性の導出
- 本Code Case独自の規定
- プラントの安全性と構造信頼性を結びつけるもの
- PRAを“逆方向に”使用

# PRA を“逆方向に”使用

PRAは通常、個々の機器の信頼性に基づきリスク指標を評価する。



提案手法では、リスク手法を分解し、機器レベルの目標構造信頼性を求めるためにPRAを用いる。





**Plant-level Requirements (CDF, CFF)**

Safety-related Input in Appendix I

**Initiating events**

Internal events

× 50%

External events

× 50%

**Initial plant operating states**

Power operation

× 90%

Shutdown state

× 10%

**Type of accident sequence**

Combination of initiating events and loss of mitigation system

× ~100%

Direct from initiating events (e.g., loss of reactor internal support structure)

× ε%

**Accident categories**

Loss of reactor level (LORL)

× ~50%

Protected loss of heat sink (PLOHS)

× ~50%

Anticipated transient without scram (ATWS)

× ε%

**Contributors**

Passive components

× 50%

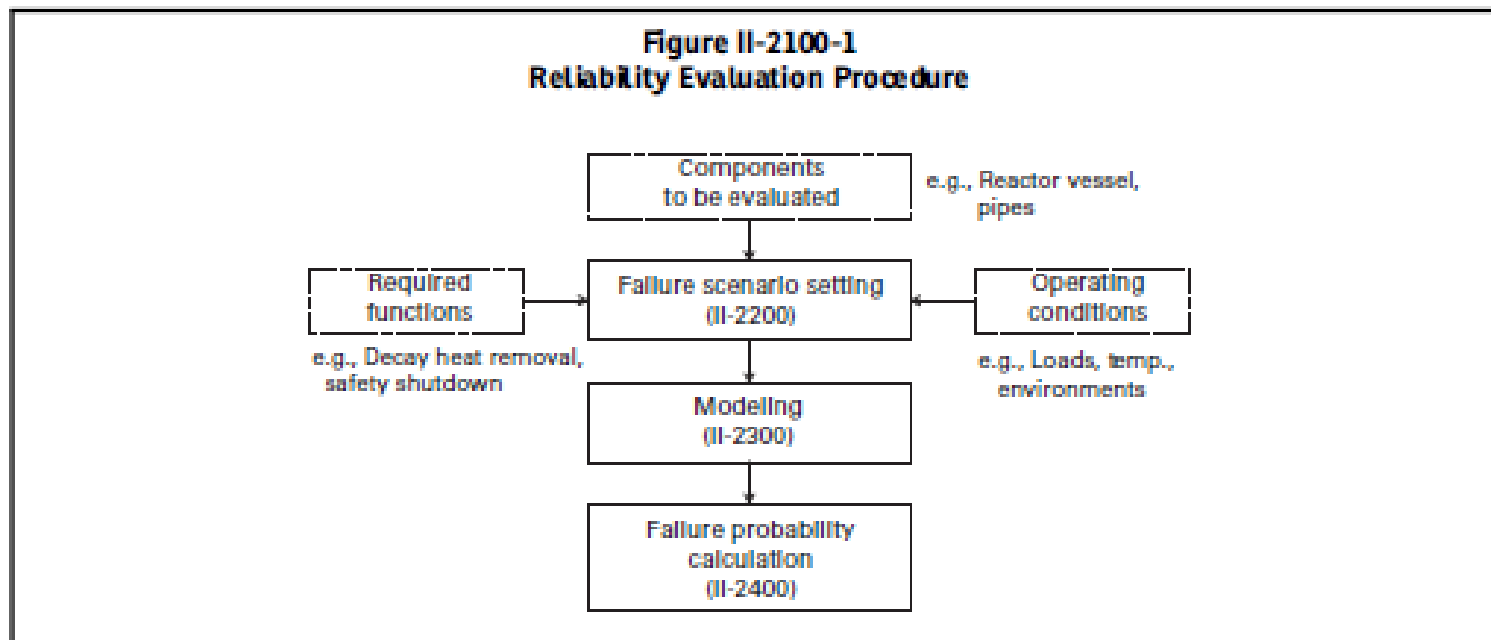
Others

× 50%

**Example:** About 11% of total reliability is distributed to LORL caused by static component failures.

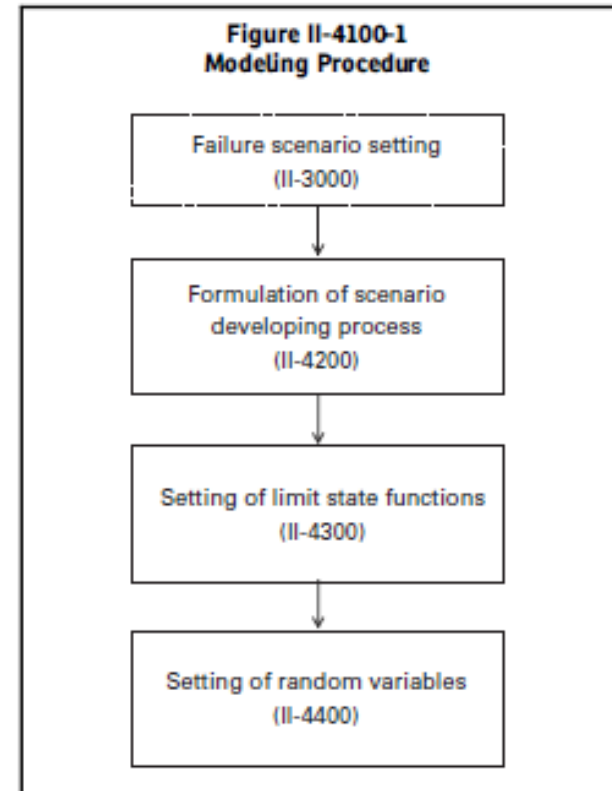
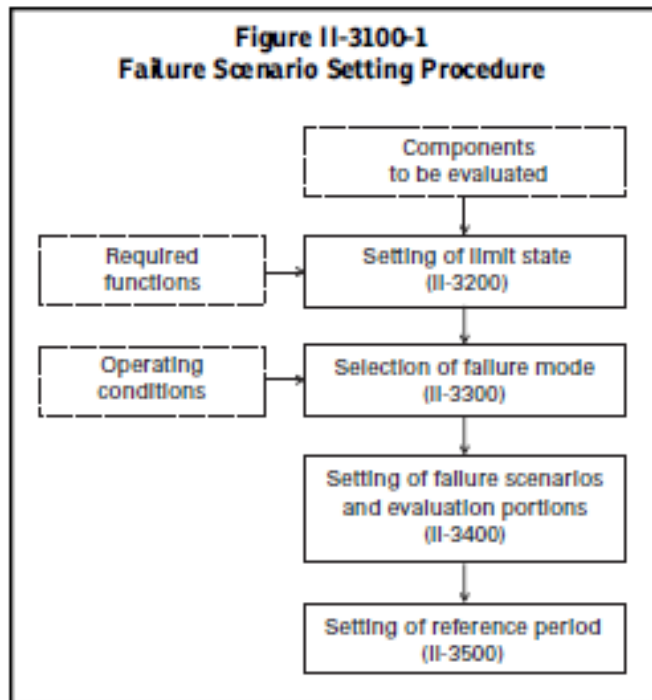
# Mandatory Appendix II

- 高速炉の静的機器の構造信頼性を評価するための手法
- 評価のばらつきを抑制するためのガイドライン



# Mandatory Appendix II

- 破損シナリオの設定を要求。
- 破損シナリオに沿ったモデルの作成と評価。



# 書面投票時の議論

- 設計関係者の意見
  - 本件は設計に影響する”big deal”である。
- NRCの意見
  - NUREG 1.174\*のポリシーに合致しているかどうか、詳細な評価が必要である(Risk-InformedはエンドースするがRisk-Basedはエンドースしない。本件はRisk-Basedの部分があるように見える)。
  - 今後適切な時期にNRCとして評価する。

\* REGULATORY GUIDE 1.174, AN APPROACH FOR USING PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT IN RISK-INFORMED DECISIONS ON PLANTSPECIFIC CHANGES TO THE LICENSING BASIS, May 2011, Revision 2

# ASME Section XI Committee としての展開

- 炉型によらず適用可能な維持規格としてDivision 2で「Reliability and Integrity Management (RIM)」を策定中。
  - 炉型によらない規定と炉型特有の規定から構成
- 炉型によらない規定(案)に本Caseの基本的考え方が取り入れられている。

# 日本機械学会での高速炉規格の整備状況

## 発電用原子力設備規格

### FBRの現状

材料強度基準  
(設計・建設に収録)

もんじゅベース

JSME設計・建設規格  
(第II編)2016年版\*

もんじゅベース

JSME 溶接規格  
事例規格 高速炉溶接規格

もんじゅベース

### 整備すべき規格

材料強度基準  
(設計・建設規格に収録)

継続的に改訂中

設計・建設規格第II編  
高速炉規格

継続的に改訂中

高速炉溶接規格

2017年版新規発刊

高速炉破断前漏えい  
評価ガイドライン

規格委員会で審議中

高速炉維持規格

規格委員会で審議中

高速炉機器の  
信頼性評価ガイドライン

2017年版新規発刊決定

\*初版は2005年版。「高速原型炉  
高温第1種機器の構造設計指針」  
(もんじゅ基準)と同様の内容。

(a) システム化規格概念を指導原理として規格体系を開発

(b) 高速炉維持規格については、将来的に、Code Case N-875と同様に機器の目標信頼性に基づく規定を志向

(c) このためLBB評価ガイドラインおよび信頼性評価ガイドラインを併せて整備

(d) 本体系を完成させるためには目標信頼性の設定方法が確立されていることが必要である。

# まとめ

- ナトリウム冷却高速炉への適用を意図した(最適化した)維持規格の骨格がASME Boiler and Pressure Vessel CodeのCase N-875として2017年に発刊された。
- 本Caseでは安全設計と構造設計の連携が考慮されている。
- JSMEで、本Caseの考え方も参考に高速炉規格体系の整備が進められている。

# 課題と展望

- 実現値の評価法は標準化されつつある。
- 「要求値」の設定方法を確立し、「実現値 > 要求値」の体系が機能するようにすることが望まれる。