

ITER誘致時の安全規制の検討について

量子科学技術研究開発機構
六ヶ所フュージョンエネルギー研究所
核融合炉システム研究開発部
中村 博文

ITER日本誘致の際、ITERプロジェクト実施主体である原研(現QST)は、日本国内でのITER規制の検討に対して、

- ・ITERの設計情報
- ・運転シナリオ
- ・要求される安全設備
- ・安全評価結果等

の情報を提供し、ITER安全規制の枠組みの検討を支援した。

QSTに残されている準備資料と行政での報告書を基にITER誘致時の安全規制に関する検討内容を紹介する

報告内容

- ・ITERの概要
- ・ITERの安全上の特徴
- ・ITERからの国内規制への要求
- ・国内のITER規制に関する検討結果

●意義

◇核融合エネルギーの実現の見通しを得る。

●技術目標

- ◇核融合出力と外部からの入力の比が10以上の**燃焼プラズマ**を長時間(300~500秒)生成する。
- ◇超伝導コイルや加熱装置などの**核融合工学技術**を統合し、その有効性を実証する。
- ◇将来の核融合炉で必要なブランケットなどの**機器試験**。
- ◇**環境・安全性**の実証、等

●経緯・計画

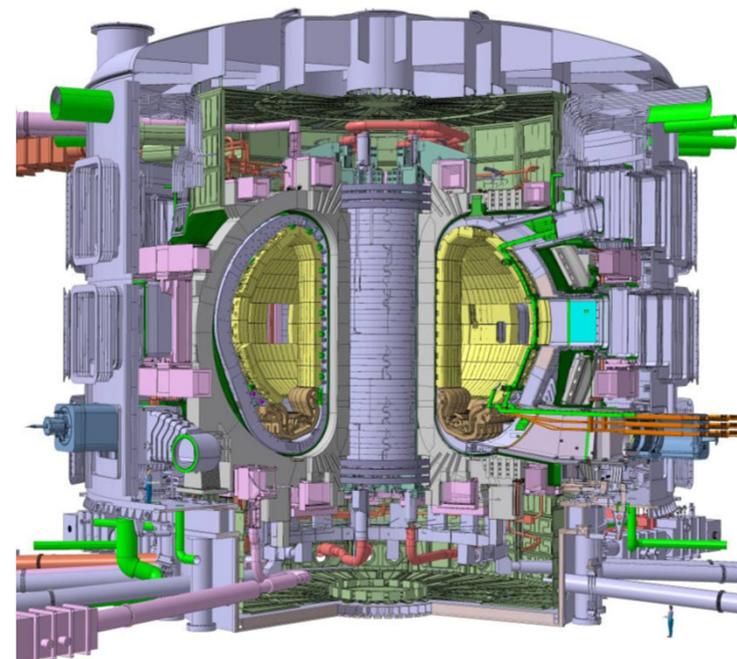
- 1985年11月の米ソ首脳会談が発端
- 1988年~2001年7月 概念設計活動・工学設計活動を実施
- 2001年~2006月 政府間協議
- 2007年10月 ITER協定発効、ITER機構設立



●参加極

日本、ユーラトム、ロシア、米国、中国、韓国、インド

ITER本体概要図



主要パラメータ

| | |
|-------------------|------------|
| 核融合出力 | 500 MW |
| Q (核融合出力/外部加熱パワー) | ≥ 10 |
| プラズマ燃焼時間 | 300-500 秒 |
| プラズマ主半径 (R) | 6.2 m |
| プラズマ副半径 (a) | 2.0 m |
| プラズマ電流 (IP) | 15 MA |
| プラズマ体積 | 約840立方メートル |
| 本体重量 | 2万3千トン |

ITER施設

・機器構成

○トカマク施設:

真空容器、ブランケット・ダイバータ(補足:試験機器*)、超伝導コイル、排気系、燃料注入系、加熱装置

○燃料処理・貯蔵施設: 燃料精製系、同位体分離、貯蔵

○放射性気体廃棄物処理設備

青字はトリチウムバウンダリ

○建物・構築物: トカマク建屋、排気筒

橙字は閉じ込め系

内蔵する放射性物質(制限値)とその影響

トリチウム: 2.8kgうち1.2kgが真空容器内

(補足: 現在のサイトインベントリは4kg)

放射化ダスト W 100kg、Be 100kg、CFC 200kg

(補足: CFC→W Be→Wの変更に伴い見直し中)

主たるリスク: トリチウム、放射化ダスト (gあたりの影響度はダストはTの<1%)

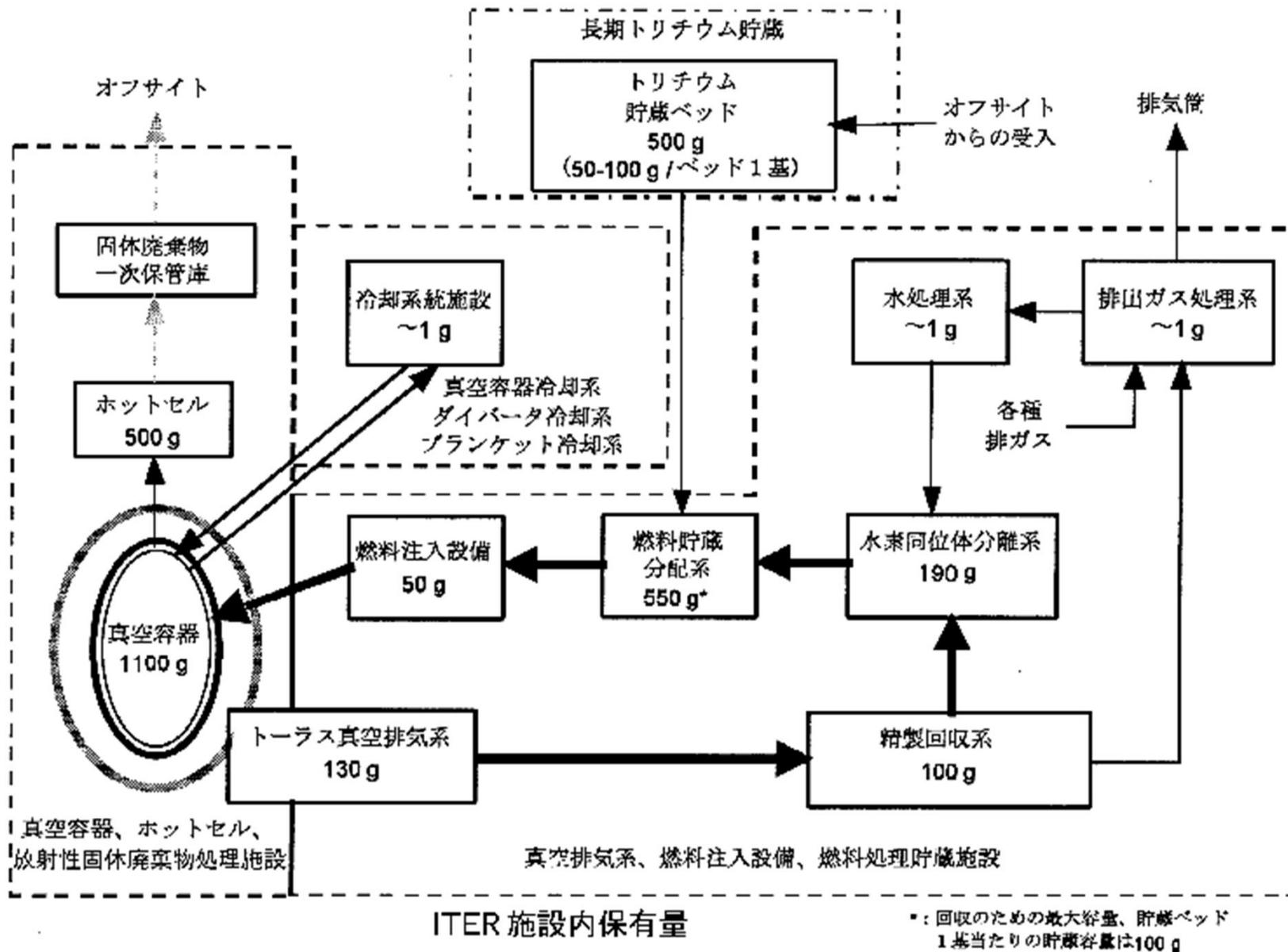
* 試験機器はITERで性能を確認する機器なので閉じ込め等には期待しない

放射性物質を内包する機器等に作用するエネルギーと、考慮すべき荷重

| 放射性物質を内包する主要な機器等 | 作用するエネルギー | 考慮すべき加重 |
|--------------------|--|-----------------------------|
| 真空容器 | <ul style="list-style-type: none"> ・核融合出力(約500MW) ・プラズマが保有する熱エネルギー(約400MJ) ・プラズマに入射するエネルギー(約50MW) | 核融合出力の増大 |
| | | 通常熱除去機能の喪失による熱負荷及び電磁力 |
| | 放射化に伴う崩壊熱(最大0.5MW/m ³) | 通常熱除去機能の喪失による熱負荷 |
| | 冷却水の内部エネルギー | 真空容器内での試験機器損傷に伴う冷却水放出等による加圧 |
| | プラズマの保有する磁気エネルギー(約300MJ) | ディスラプションによる熱負荷及び電磁力 |
| | 超伝導コイル系中の磁気エネルギー(約50GJ) | 超伝導コイルの短絡等による超伝導コイルの変形 |
| 燃料処理・貯蔵設備 | 液体水素同位体の内部エネルギー | 冷凍機能の低下による加圧 |
| ブランケット及びダイバータ1次冷却系 | 冷却水の内部エネルギー | 冷却水の圧力制御の故障等による加圧 |

| | |
|-------------------------------|--|
| <p>核融合反応に備わる固有の特徴</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・核的暴走がない (核分裂の連鎖反応的な反応はなく、核融合反応を維持することが難しい) ・プラズマの圧力限界、密度限界による反応収束性 ・不純物の混入に対する反応収束性 |
| <p>ITER装置条件下での固有の特徴</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・崩壊熱密度が小さい |
| <p>ITERの本来機能確保により、得られる特徴</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・真空容器等の気密度が高い ・電磁力に対する真空容器等の構造強度の確保 ・電磁力に対する超伝導コイルの構造強度の確保 |
| <p>安全機能を確保するために設計対応を要する特徴</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・放射性物質を内蔵する特定の機器が加圧される可能性がある |

QSTITERでのトリチウムインベントリ分布(誘致時)



上記数値はITER誘致時の値であり、現在は変更されているが、各機器のトリチウムインベントリは公表されていない

ITER日本誘致の際の前提条件 (ITERからの要求事項)

ITERの安全原則(PDD Safetyより)

- (1)ALARA
- (2)深層防護
- (3)受動的安全性
- (4)核融合固有の安全上の特徴を考慮
- (5)サイト国での許認可に使用する安全評価の実施

放射性物質を大量に内包し、その障壁を壊しうるエネルギーを内包
(そのまま放出されれば公衆被ばくが1mSvを超える)

- ・異常時の緩和系 * が必要
- ・異常時緩和系の妥当性を確認する事故評価が必要

* ITERで想定されていた異常時緩和系

- ・トリチウム除去系
- ・真空容器圧カレントシステム等

プラズマ異常

- ・プラズマ制御喪失

電源喪失

- ・外部電源喪失(1h,32h)
- ・外部電源喪失と内部電源(III)の喪失(1h)

炉内事象

- ・FW/BLK冷却水漏洩
- ・FW/BLK冷却水複数本破断
- ・VV/クライオスタット貫通の真空喪失

炉外冷却水事象

- ・ダイバータ冷却シンク喪失
- ・ダイバータ冷却水ポンプトリップ
- ・ダイバータ冷却水ポンプ固着
- ・VV冷却水大口径配管破断
- ・ダイバータ冷却ループ大口径配管破断
- ・熱交換器からの漏洩
- ・熱交換器配管破断

保守時事象

- ・ダイバータカセットスタックとキャスク破損
- ・VV上でのメンテナンス事故

トリチウムプラント燃料循環系事象

- ・トリチウムプロセス配管漏洩
- ・トリチウム輸送容器の事故
- ・同位体分離系破損
- ・燃料供給系破損

マグネット事象

- ・トロイダルコイルの短絡
- ・閉じ込め障壁付近でのアーク発生

クライオプラント事象

- ・クライオスタットへの空気侵入
- ・クライオスタットへの水/空気/ヘリウム侵入

ホットセル事象

- ・ホットセルでの閉じ込め機能喪失

最大想定事故評価

真空容器関連

- (1) 真空容器のポートに接続する管の破損
- (2) ブランケット冷却配管の破損
- (3) ダイバータ冷却配管の破損

燃料処理貯蔵施設

- (4) 燃料注入系配管の破損
- (5) 水素同位体分離設備の破損

システム応答解析(温度、圧力等の評価)

真空容器関連

プラズマエネルギー関連

- (1) 核融合出力の過大
- (2) 熱除去能力の低下
(ブランケット、ダイバータ)

- (3) 熱負荷の局所的な集中
- (4) ディスラプションの熱負荷

崩壊熱関連

- (5) 熱除去機能の低下

磁気エネルギー関連

- (6) ディスラプションの電磁力
- (7) トロイダルコイルのクエンチ
- (8) トロイダルコイルの短絡

冷却系の内部エネルギー

- (9) 冷却配管(ブランケット、ダイバータ)の破損
- (10) 冷却系の圧力上昇

冷凍系の内部エネルギー

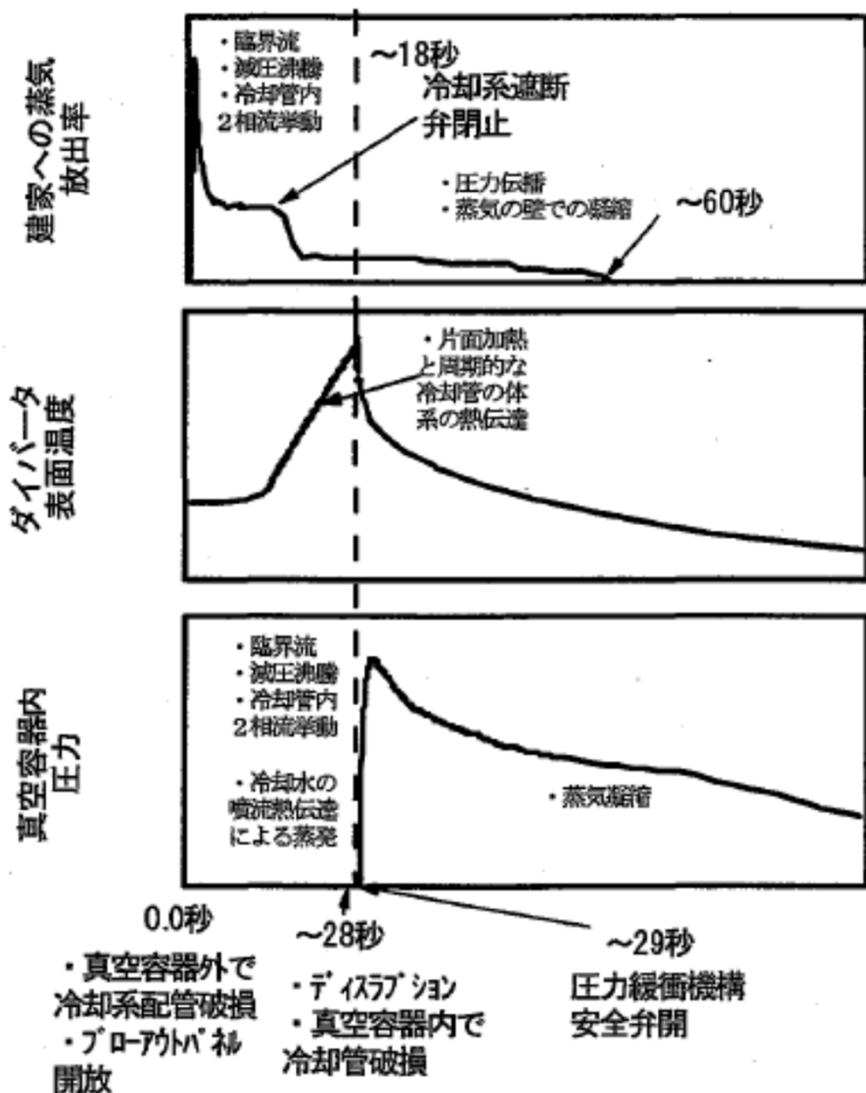
- (11) クライオポンプヘリウム冷却配管の破損
- (12) 液体ヘリウム冷凍系の圧力上昇

真空関連

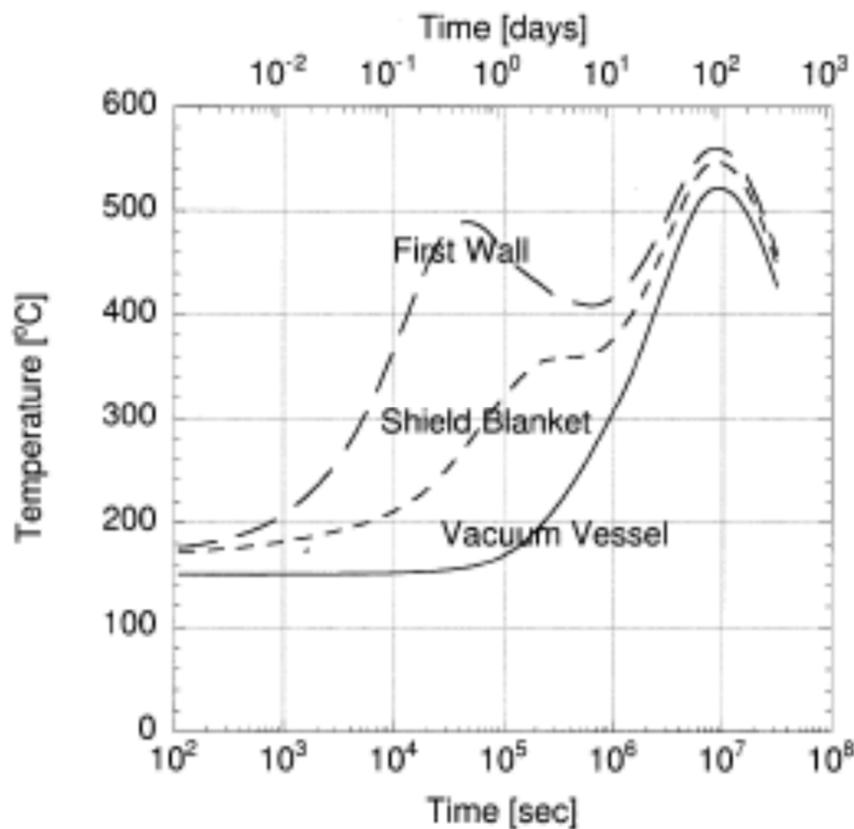
- (13) クライオスタットの進級境界からの漏えい

燃料処理貯蔵施設

- (14) 水素同位体分離系深冷蒸溜冷凍機能喪失
- (15) 燃料貯蔵設備のヒータの誤作動



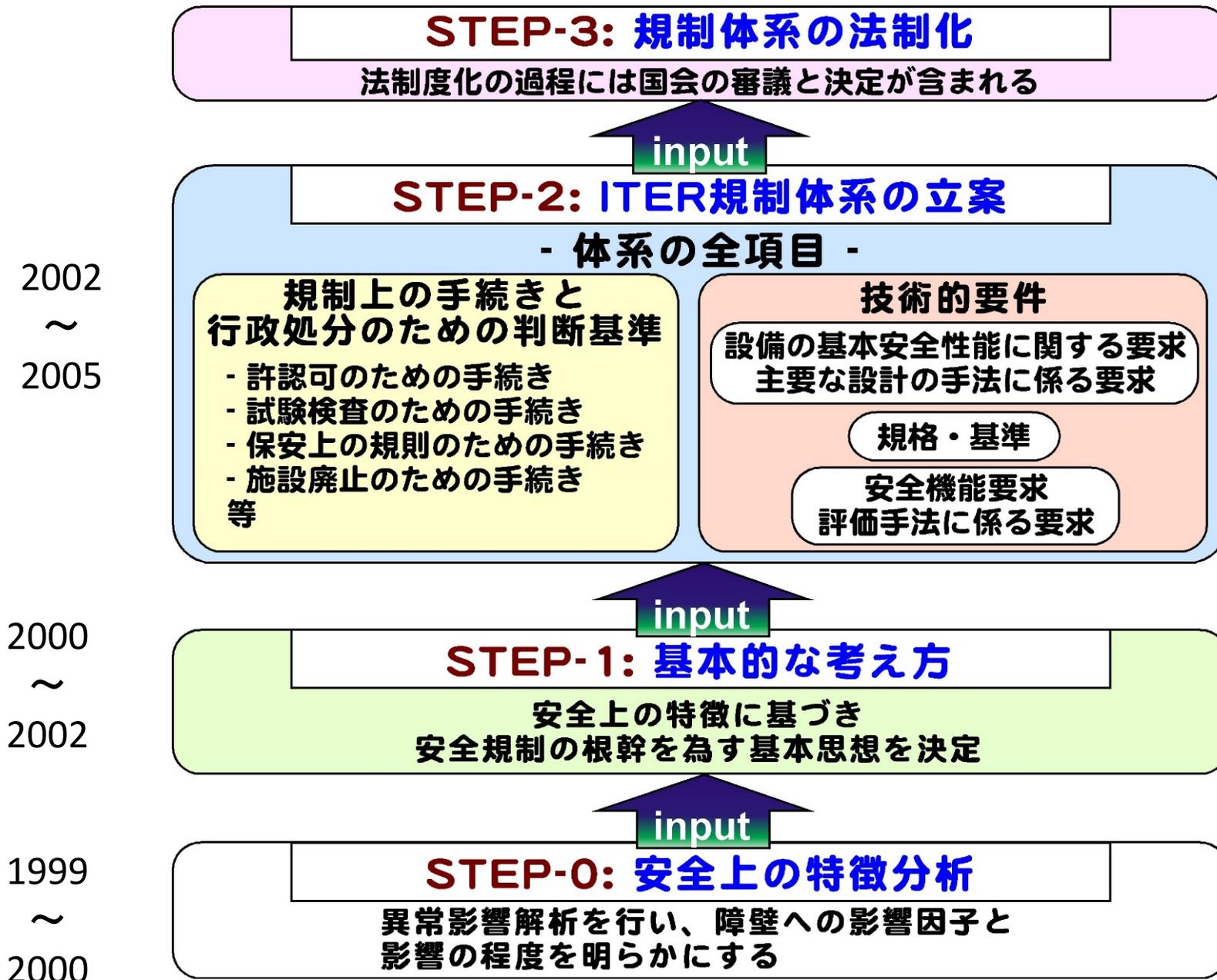
真空容器外でのダイバータ冷却配管破損の評価例



崩壊熱除去機能喪失時の評価例

一連の安全解析で

- トリチウムバウンダリの溶融に至る事象なし
- 想定した異常事象での公衆被ばくは1mSv以下を確認し、規制検討会へ資料提供



ITERの安全上の特長と異常時の公衆への影響等を検討した結果、以下の報告書が作成された

1. ITER施設の安全確保の基本的な考え方について(H12.7) ステップ1
(科技庁顧問会報告書)
2. ITERの安全確保について(H13.8) (原子力安全委員会決定) ステップ1
3. ITERの安全確保のあり方について(H14.6) ステップ1
(原子力安全委員会決定)
4. ITERの安全確保について(H15.11) (文科省ITER安全規制検討会) ステップ2
添付資料
 - ・ITERに関する安全設計・安全評価の基本方針
 - ・ITERに関する技術基準
 - ・ITERに関する詳細設計の確認の範囲・項目及び検査の項目・範囲

4. ITERの安全確保について(H15.11) (文科省ITER安全規制検討会) ステップ2

ITERの安全上の特徴

- ・核融合では核的暴走の危険性はない(核融合は連鎖反応ではないため)
- ・考慮すべき潜在的危険性はトリチウムや放射化ダスト等の放射性物質を内包すること及び核融合反応に伴う熱や磁気エネルギー等により放射性物質を内蔵する機器に加重が作用すること

ITERの安全確保の基本方針

安全確保の目的

- ・公衆及び従事者に放射線障害を及ぼす恐れがないように措置を講ずること

主要な安全要件

- ・放射性物質を内蔵する機器の構造強度等を確保することにより放射性物質の漏えい等の事故の発生防止が図られること
- ・排気設備等による事故の影響緩和がなされること

ITERの安全確認の基本的手続き

- ・基本設計、詳細設計、建設段階、運転段階、及び廃止措置の段階に応じてあらかじめ示した基準等に基づき行う。

4. ITERの安全確保について(H15.11) (文科省ITER安全規制検討会)

ITERの安全設計・安全評価の基本方針

- 方針1 安全確保の原則
ALARA 公衆被ばく 1mSv/y 従事者被ばく 100mSv/5年
- 方針2 平常時の放射線防護
放射線遮蔽、浄化希釈機能を有する排気排水設備
- 方針3 事故の発生防止
適切な規格による設計、多重性、供用中検査等
- 方針4 事故による影響緩和
影響緩和設備(負圧維持、RIの除去機能、非常用電源、多重化、監視)
公衆被ばくの判断基準(5mSv/事故)
- 方針5 火災に対する考慮
火災発生防止、検知、消火、影響軽減
- 方針6 耐震性の確保
安定な地盤に支持、地震力の設定
- 方針7 外部起因事象に対する設計上の考慮
立地地点の状況に応じた外部事象(航空機落下、積雪等)
- 方針8 品質保証に対する考慮

ITER安全規制検討会報告以降 に予定されていた作業

ITER安全規制検討会

- ・運転段階・廃止段階の基準等の検討
- ・法的枠組みの検討

推進側

- ・サイト依存設計(地質地盤情報等)

規制側

- ・法的な枠組みの整備
- ・法的枠組みに基づく安全確認

ITERがフランスに決定したため以降の作業は中断

ITERの日本誘致の際の安全規制案は、原子力災害の防止の観点ではなく、放射線障害の防止の観点から規制する方針であった。

ただし、ITERが内包する放射性物質のインベントリと熱的電磁気的エネルギーが放射性物質を内蔵する機器に負荷を与えうることから、適切な規格に基づく異常発生防止と放射性物質の漏えいに対する負圧維持と放射性物質除去機能を持つ影響緩和系を求める方針となった。

その後、法令整備等の準備が企画されたが、ITERがフランスに立地が決まったため、それ以降の議論は停止となった。

参考資料

ITER誘致時の規制に関する関連報告書の概要

- ・科学技術庁顧問会報告書
- ・原子力安全委員会決定

1. ITER施設の安全確保の基本的な考え方について (H12.7)(科技庁顧問会報告書)(ステップ1)

安全確保の目標

- ・放射線障害を及ぼす恐れがないように措置を講ずる

安全確保の原則

- ・平常時の公衆被ばくを合理的に達成できる限り低く維持する(ALALA)
- ・事故の発生防止を構造強度の確保により達成する
- ・事故時においては、負圧維持型の廃棄設備(コンファインメント施設)により影響を緩和(格納容器、残留熱除去系、ECCS等の安全設備は要求されない)

安全設計の方針

- ・平常時の放射線防護
- ・事故発生防止(適切な規格基準、耐震性、運用中検査)
- ・事故影響緩和(コンファインメント施設)
- ・立地 離隔・防災対策の必要性の有無(要検討事項)
- ・火災
- ・品質保証

耐震安全性

- ・安定な地盤に設置
- ・適切な地震力の設定
- ・免震設計の適用の留意点

2. ITERの安全確保について(H13.8)(原子力安全委員会決定)

- ・核的暴走はない(核融合は連鎖反応ではないため)。
トリチウムや放射化物の取り扱いに留意
- ・既存の核融合施設における実績、核分裂炉に関する安全の考え方及び実績に照らし、ITERの安全を確保することは技術的に可能と判断。
- ・公衆や従事者の放射線障害の防止につとめるとともに事故や故障に対する評価を行い、安全確保に必要な措置を講ずることが重要

3. ITERの安全確保のあり方について(H14.6)(原子力安全委員会決定)

- ・ITERの安全規制は、原子力施設や放射線に関連した既存の規制体型に既存の規制体系にとらわれず、核融合の特質を踏まえた枠組みとすべき
- ・安全性の審査は中立性及び透明性に十分配慮する必要あり
- ・ITERは原子炉施設で講じられる原子力災害を想定する必要はない