

水冷却固体増殖テストブランケットモジュールの安全評価方針

Strategy of Safety Evaluation of Water Cooled Solid Breeder Test Blanket Module

原子力機構	鶴 大悟	Daigo TSURU	Nonmember
原子力機構	榎枝 幹男	Mikio ENOEDA	Nonmember
原子力機構	秋場 真人	Masato AKIBA	Nonmember

Representative events selected by the result of Failure Mode Effect Analysis (FMEA) are summarized into three groups, i.e., release of Radioactive Isotopes (RI), pressurization and heatup. With respect to events about release of RI, the maximum released RI is evaluated for three RI inventories, i.e., RI in Vacuum Vessel (VV) (tritium and radioactive dust), RI in purge gas (tritium) and RI in coolant (tritium and ACP). With respect to the events about pressurization, the maximum pressures of the compartments nearby the pipes of cooling system are evaluated. With respect to the events about heatup, preliminary thermal analyses have been carried out on three hypothetical cases, i.e., the case of loss of cooling, the case of ingress of coolant into the module and loss of offsite power after ingress of coolant.

Keywords: Water Cooled Solid Breeder Test Blanket Module, ITER, FMEA, Representative Events, Be – Water Chemical Reaction

1. 緒言

現在、JAEA で水冷却固体増殖増倍型のテストブランケットモジュール (WCSB TBM) の設計が進行中である。これは、ITER の真空容器環境中に将来の核融合ブランケットと同じ構造を持つ TBM を設置して、本物の核融合炉環境下での核融合ブランケットの実証試験を行うものである。設計作業に並行して WCSB TBM の安全評価が行われており、本報ではその評価方針を明らかにすると共に、予備的評価を行う。

2. 代表事象

TBM の安全評価方針としては、まずは包絡性を重視した評価を優先する。

Fig.1 に TBM の模式図を示す。TBM 本体及び付属機器系統 (共通フレーム及びバックサイドシールド、冷却系、パージガス循環系) に対して故障モード影響解析 (FMEA) を実施し、安全上評価が必要な事象を選定した。さらに、これらの事象の中で他の事象に包絡されない事象を代表事象として選定した。これらの代表事象は、(I)放射性物質 (RI) の放出、(II)加圧、(III)加熱、の3つの代表事象グループに分類された。代表事象グループ毎に安全評価を行う。

連絡先: 鶴 大悟、〒311-0193 茨城県那珂市向山 801-1、
日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門、
電話: 029-270-7538、e-mail:tsuru.daigo@jaea.go.jp

3. RI の放出に関する代表事象グループ

本グループとして以下の代表事象が挙げられる。
(a)真空容器 (VV) 内 RI インベントリー (最大 1.2kg のトリチウム及び最大数百 kg の Be、C、W の放射化ダスト) 放出
(b)パージガス内 RI インベントリー (最大 1mg のトリチウム) 放出
(c)冷却系内 RI インベントリー (最大 3g のトリチウム及び最大 5g の放射化腐食性生物 (ACP) ※1) 放出
(a)については、ITER 本体の設計事象に同等の事象があるため、その結果を引用すると、環境への放出 RI は最大 0.25g トリチウム及び最大 0.15g 放射化ダストと評価された。(b)、(c)については、保守的に全量放出を仮定して評価した。いずれの事象についても、ITER の放出ガイドラインである 5g トリチウム及び 50g 放射化ダストを下回ることが確認された。

※1: ITER の寿命中運転を続けた場合の最終濃度

4. 加圧に関する代表事象グループ

本グループでは、通常運転時 15MPa である冷却系の圧力境界の破断に伴い、冷却系に隣接する区画の加圧事象を扱う。対象となる区画として、(a)TBM 箱構造、(b)真空容器 (容積 1,000m³、設計圧力 200kPa)、(c)ポートセル (容積 150m³、設計圧力 140kPa)、(d)HTS ボールト (容積

1,000m³、設計圧力 120kPa)、が挙げられる。

このうち(a)は TBM の箱構造に対して冷却系の通常時運転圧力である 15MPa の耐圧性能を持たせることで対処する。(b)、(c)、(d)については TRAC-PF1 コードを用いて簡易的な圧力挙動解析を実施し、設計圧力の大幅な超過がないことを確認した。

5. 加熱に関する代表事象グループ

TBM の温度上昇事象を考える上で、冷却材の水と中性子増倍材の Be ペブルの化学反応に関して、特に留意する必要がある。この反応は発熱反応で、反応率が温度に対して指数関数的に増加する。このため高温で反応が生じた場合、反応が活性化し温度が急上昇する潜在的危険性がある。

FMEA の結果から、本グループに属する代表事象として、(a)プラズマ運転中 TBM 冷却喪失、(b)プラズマ運転中 TBM 内への冷却材浸入、(c)TBM 内冷却材浸入後の外部電源喪失、の 3 つを選定した。

(a)プラズマ運転中 TBM 冷却喪失 プラズマ運転中に TBM の冷却が完全喪失し、その後もプラズマ運転を継続した場合を想定する。第一壁温度が Be アーマータイルの融点 1278°C に達すると、Be が溶融し、多量の不純物混入によりプラズマが停止する。プラズマ停止後は自然放熱により時間とともに温度は低下し、事象は終息する。この状況でも冷却管が破断しないような設計を行えば、冷却喪失時に従属的に冷却材が TBM 内に浸入し Be-水化学反応が活性化する事態が避けられる。この際、第一壁部分の冷却管構造材温度は約 1200°C 以上の状態が 100 秒ほど持続される。構造材がこの温度で持たないようであれば、第一壁温度がより低い状態でプラズマが停止するような措置が必要となる。

(b)プラズマ運転中の TBM 内冷却材浸入 プラズマ運転中に TBM 内部の冷却管が破断して、冷却材が TBM 内部に浸入、充満した場合を想定する。TBM 内部の Be ペブルと浸入した冷却材の水による化学反応の熱負荷が新たに加わる。冷却系は稼動を継続するものと想定する。温度解析の結果は、冷却材浸入前と比較して各部の温度は全く変化が見られなかった。通常運転時の Be 温度(高々 600°C 以下)では、化学反応熱は核発熱よりも数桁小さいためと考えられる。冷却材が TBM 内に浸入し Be-水化学反応が発生した場合でも、冷却系が稼動を継続する限り TBM の温度上昇及び化学反応の活性化が避けら

れる。

(c)TBM 内冷却材浸入後の外部電源喪失 (b)の事象後に外部電源喪失が発生した場合には、プラズマ運転が停止すると共に、冷却系もまた稼動を停止する。TBM の崩壊熱は、熱放射により TBM から対向する遮へいブランケット、及び後方遮蔽体を介してポート等の構造物に自然放熱される。温度解析の結果は、プラズマ運転停止と同時に TBM 各部の温度は下降し、100,000 秒後には 400~470°C の範囲でなだらかな温度分布となり、事象は収束する。

6. 結言

TBM の安全評価上考慮すべき代表事象を、RI 放出、加圧、加熱の 3 グループに分類し、グループ毎に評価を行った。

- RI 放出の最大量はトリチウム 0.25g 及び放射化ダスト 0.15g と、ITER 放出ガイドラインを下回る値と見積もられる。
- TBM 箱構造の加圧への対処として、箱構造に 15MPa の耐圧性能を持たせる。その他の区画の加圧に関しては、TRAC-PF1 解析により設計圧力の大幅な超過のないことを確認した。
- 加熱に関しては、(i)TBM 冷却喪失及び温度上昇時に、従属的に冷却材が TBM 内部に浸入しないような設計とすること、(ii)TBM 内冷却材浸入時に、従属的に冷却系が停止しないような設計とすること、を満足することで、TBM 外箱構造の健全性が維持されることを確認した。

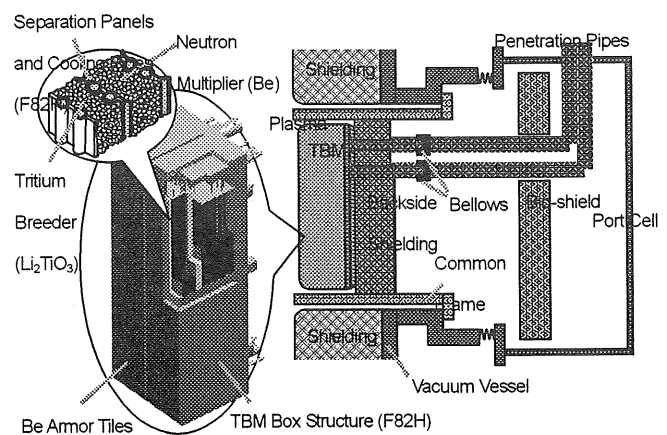


Fig.1 Schematic Structure of the WCSB TBM

