

TECHNICAL ISSUES OF IFMIF CW DEUTERON LINAC

Sugimoto M., Kinsho T., Chernogubovsky M., Kawai M. and Hojo Y.*

Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-11, Japan

Abstract

The conceptual design activity of the International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) has been completed and the final design report is published in December 1996. It is agreed by the participating countries to keep the IFMIF activity during next a few years with a continuous upgrading of the conceptual design and to prepare for the future engineering phase. The beam loss during the acceleration is one of the most important issues of the IFMIF design study, and the reliable beam dynamics simulation code is indispensable. The status of the RFQ beam simulation code is reviewed and the recommendation for the standard code is discussed at the IFMIF accelerator team meeting. Other many technical issues are also to be reconsidered to refine the conceptual design.

IFMIF用CW重陽子リニアックの技術課題

1. IFMIF 概念設計活動の概要

IFMIF は核融合炉実証炉のための材料開発に必要な加速器型の高エネルギー（14MeV 相当）大強度中性子源及びそれを利用した照射試験施設であり、IEA のもとで日米欧露の国際協

力により過去2年間概念設計活動を実施してきた。最終設計報告書¹⁾は1996年12月に完成し現在、レビューの作業にとりかかっているところである。図1に施設の全体図を示す。加速器本体、輸送系及びターゲット系は地下に、RFギャ

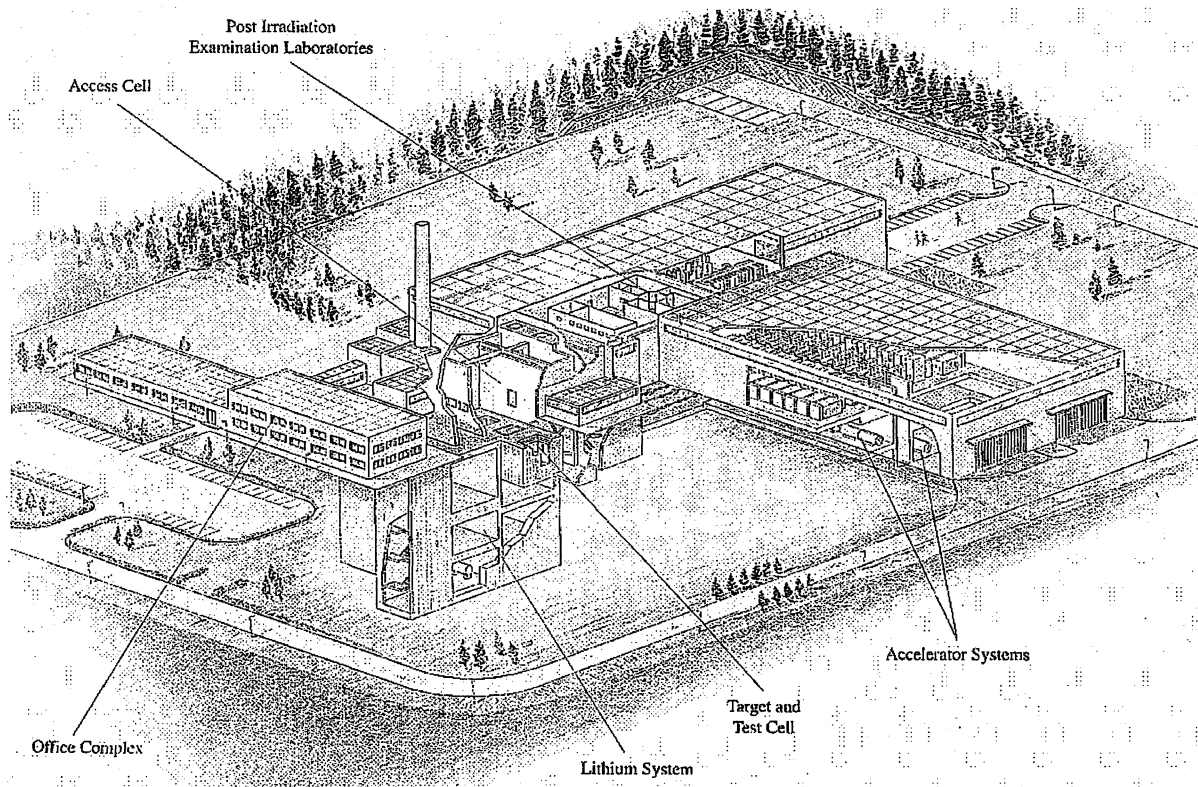


図 1. 3-Dimensional View of IFMIF

* Hitachi, Ltd., Hitachi Research Lab., 2-1, Omika-cho 7-chome, Hitachi-shi, Ibaraki 319-12 Japan

ラリー、照射後試験施設は地上階に配置される。

図 2 にビームラインの平面図を示す。この施設の大きな特徴は大電流 CW 加速と高アベイラビリティの両立が要求されている点にある。表 1 に示した照射施設へのユーザーの要求を受け IFMIF 用加速器の基本仕様が決められた。概念検討にあたり以下のようなスタンスをとった。
 (1) 既存の技術 (小規模であってもシステムとして動いているもの) をもとにする。
 (2) ビームダイナミクスの観点を工学的問題よりも重視する (後者はプロトタイプで実証)。

表 1. 照射用中性子源へのユーザー要求

中性子束強度	2MW/m ² 相当が 10L (1MW/m ² = 4.5x10 ¹⁷ n/m ² s)
フルエンス	~50 dpa/y(Fe)相当
スペクトル	第 1 壁の中性子スペクトルをよく近似できる (recoil spectrum, PKA, He/H production)
中性子束勾配	10 %/cm 以下
時間構造	準連続運転で 70%以上の利用率
照射試験	実験・計測のための接近性確保

(3) 個々の要素の最適化に際し、他のサブシステムとの整合性を重視する。

具体的には(1)はファンリングの不採用、(2)は周波数の決定、(3)はターゲットとのインターフェースの観点から HEBT 系を設計等に影響が出ている。

2. 加速器概念設計の概要

表 1 の要求を満たす中性子発生反応としては D-Li 反応が最適であり、全電流で 250mA の D⁺ ビームが要求される。短時間ならば半分の中性子強度でも照射の継続が可能とするユーザー側の了解のもとに 125mA の加速器モジュールを 2 台並列運転することでアベイラビリティの向上をはかった。(ビームの完全停止時はーリングを防ぐため照射試料のヒータを停止させる等の措置が必要。)したがって検討対象は 125mA の重陽子加速器モジュール及び 2 つのビームの合成方法となる。加速器については大強度陽子加速器システムで採用されている RFQ+DTL 構成をとる。周波数は RFQ におけるビームダイナミクスの観点から 175MHz とした。DTL も同

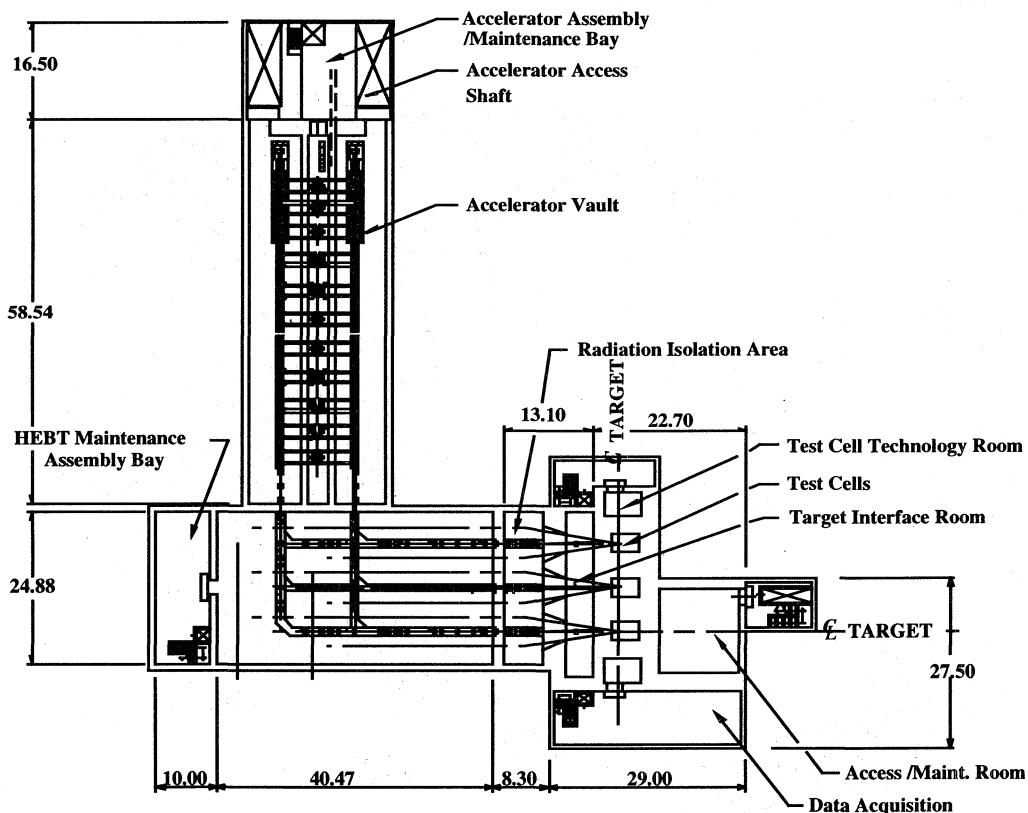


図 2. IFMIF 加速器系のレイアウト (平面図)

じ周波数とする。定常時運転モードは CW であるが、運転開始時には入射ビームをパルス幅 1 ms 程度にモジュレートさせ 2 % 程度の低 duty から調整を始めることを考慮する（なおコミッション時には不要な放射化を避けるため H_2^+ ビームで試験運転を行う）。また材料によって最適な照射中性子スペクトルを変えたいとの要求に基づき ESNIT で考慮したようなエネルギー選択性を持たせるため DTL はエネルギーステップで約 4 MeV のタンクに分割する。タンク当たりのエネルギーゲインは 175MHz の大出力管の出力上限を 1MW として決定された。RFQ 出口エネルギーは 8MeV とし、DTL 初段でのエミッタンス増加を押さえるようにした。最終的に 1 モジュールからは 125mA で 32、36、40MeV のいずれかのエネルギーのビームが得られる。

ビームの合成はターゲット表面上で行うこととし、上下 $\pm 10^\circ$ 方向から合流させる。ターゲットから逆流する中性子束から機器を保護するためビームラインの最終ベンドからターゲットまでの距離は 15m に達する。ターゲット表面におけるビーム分布は液体リシウムの流れ（垂直）方向には 5cm の平坦部とその上下 1cm 程度のテール部があり、水平方向には 20cm の平坦分布であることが要求される。加速器モジュールのアベイラビリティは運転スケジュール時間の 88% 以上を達成することが目標となる。

米国によるコスト評価の結果、加速器システム全体で約 \$400M、開発費が \$26M と推定された。日本のコスト計算においても算定ベースがかなり異なるものの、結果としてそれぞれ \$440M、\$50M という値が得られた。

3. 技術課題

概念設計は最終報告書の完成で一応終了したがこれで直ちに工学設計にはいることが可能というわけではない。個々の技術課題はプロトタイプの建設及び実証試験を積重ねることにより初めて解決できる。報告書には課題として次の 3 つのタスクがあげられている。

- (1) RF システム (175MHz, 1MW 出力) の実証試験（トムソン社 200MHz ダイアクロードが 1MWcw 1 時間運転の実績がありこれを 100 時間規模まで試験）。RF 窓等の要素開発も含む。
- (2) 140mA 入射器の実証試験。1000 時間のイオ

ン源寿命目標。LEBT の最適化を含む。

- (3) 主としてビームロスの低減化に寄与するような設計の改訂。

以上のタスクには大電流線形加速器 (RFQ, DTL, あるいは代替案としての超電導リニアック) のプロトタイプ開発の項目が抜けているがこれらは開発費ではなく建設費の中に含まれているためである。以下に概念設計で問題となりそうな点をいくつか列挙する。

- 工学的観点から周波数 175MHz をもっと低めにしてはどうか。
- RFQ から DTL へのトランジションは 8MeV が最適かどうか。
- 立上げ時のビームのパルス化の必要性、実現方法。cw ビームによる立上げとの比較。
- H_2^+ ビームによる試験運転の有効性。ビーム調整用ダンプ (D^+ を受けけない) の意義。
- ターゲット面での垂直方向ビーム分布についてはスキャンで実現できないか。
- 報告書のアベイラビリティ計算は努力目標であって実際のデータの裏付けがもっと必要。
- 将来的にもう 2 台増設して 4 モジュールで運転することが現実に可能か。

去る 5 月にパリにおいて開催された IFMIF 加速器チーム会合では、概念設計に使用した RFQ ビームダイナミクスコードに対する問題提起がなされ、今後の対応策を議論した。結論としていわゆる z-コードの使用は避け t-コードで再検討するという事になった。また、既存の実験結果とシミュレーションとの比較をより詳細に行うための手法の改良が必要である。

4. おわりに

本施設はその性格上、核融合計画全体の流れの中で動向が定まってくるため、今後 3 年間程度は現在の概念設計検討の技術レベルを維持していくという方向づけがなされ、当初予定の工学実証段階には移行しない事になった。しかし材料開発自体の重要性は一層高まっており今後とも技術検討を継続することが必要である。

参考文献

- 1) IFMIF CDA Team, ENEA Frascati Report, RT/ERG/FUS/96/11 (1996).