国際熱核融合実験炉 (ITER) 協同設計について

苫 米 地 顕

(日本原子力研究所那珂研究所)

(1987年12月14日受理)

Cooperative Design Activity of ITER

Ken Tomabechi

(Received December 14, 1987)

Abstract

New international co-operation for the next step in the tokamak approach will start in early 1988 under the auspices of IAEA. The project is referred to as ITER, the acronym for International Thermonuclear Experimental Reactor, and has the goal of producing a conceptual design of the machine by 1990. The scope includes the determination of the technical parameters of the experiment, the research and development necessary to validate the assumptions underlying the concept, and the estimation of costs and time needed to actually build the fusion machine.

Keywords :

ITER, next step, conceptual design, international cooperation,

1. 経 緯

国際熱核融合実験炉 (ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor) の概念設計作業を国際協同事業として1988年から1990年の3年間実施する為に、その準備が現在急ピッチで進められている。ここに至るまでの経緯の概要を紹介する。

ITER計画の発端は1985年11月にジュネーブにおいて開催された第1回米・ソ首脳会談まで遡る事ができる。その共同声明のなかに“核融合開発の重要性が強調され、国際協力の広範囲な現実的開発を支持する”と謳われ、また会談の席上では次期大型装置計画が話し合われたと言う。1986年10月のレイキャビック米・ソ首脳会談では共同声明は出されなかったが、核融合開発の国際協力については引き続き話題になったと言う。この様な動きと並行して、西側では経済サミットの下部会議に属する核融合作業グループ会議

(FWG: Fusion Working Group)で次期大型装置の国際協力が議論されていた。

このような背景の基に1986年10月アメリカから米・ソ・EC・日の4者で次期大型装置に関する概念検討を協同で実施しようと言う提案が行われ、1986年11月に京都で開催されたIAEA第11回“プラズマ物理と制御核融合”に関する国際会議の席上アメリカ代表から公表された。その後幾つかの会合の機会に相談が行われ、次期大型装置に関する国際協力について正式な会議を開く事になった。この会議は4カ国創設委員会(QIC: Quadripartite Initiative Committee)と呼ばれているものであり、1987年3月にIAEA本部に於いて開催された。この会議では次期大型装置の概念設計を1988年から3年間国際協力で実施する事についての基本的な合意が得られ、その装置をITER(ラテン語で道を意味する)と呼ぶこととした。また設計協力の枠組みを明確にするため、ITER TWG(Technical Working Group)を発足させた。

ITER TWG(苫米地[日本, 議長], R. Toschi[EC], T. K. Fowler[USA], B. B. Kadomtsev[USSR])に与えられた作業は(1) ITERの目的と主要仕様, (2) 設計作業の組織とスケジュール, (3) 概念設計をサポートするR&Dの3項目についての草案を作り、10月の第2回QICに報告することであった。

ITER TWGは1987年5, 7, 9月に3回の会合を持ち、上記3項目についての草案を作成した。10月の第2回QICにおいてはTWGからの提案を審議し、一部修正を加えた後、国際熱核融合実験炉の概念設計作業に関する付託条件(Terms of Reference concerning Conceptual Design Activities for an ITER)として採択した。

ITER計画への正式な要請状はIAEA事務総長から各国へ送られ、これを受諾した時点で正式な設計作業が開始する事になるが、これは1988年春になるものと予想される。先ず設計概念を具体的に詰めるための最初の段階のITER Management Committee(後述)のメンバー(苫米地[日本, 議長], R. Toschi[EC], J. R. Gilleland[USA], Y. A. Sokolov[USSR])が決まり、現在その準備作業が進められている。

2. 国際熱核融合実験炉の概念設計作業に関する付託条件

ITERの概念設計作業は付託条件の下に実施される。以下付託条件の概要を述べる。

2.1 概念設計活動の参加者と内容

概念設計活動は国際原子力機関(IAEA)の下で実施され、欧州原子力共同体(EURATOM), 日本, ソビエト社会主義共和国連邦(USSR), アメリカ合衆国(USA)の4者が参加する。その他の国は前記4者の何れかとの協力を通して概念設計活動に貢献することが出来る。尚、欧州原子力共同体はEURATOMの核融合計画に参画している国を含んでいる。

概念設計活動は設計活動と研究開発活動とから成る。設計活動はa) ITERの技術的な特性を明確にし、その概念設計を確立するのに必要な設計作業を行うこと, b) 将来必要となる研究開発課題を明確にし、ITERの実現に必要な経費, 人的資源, スケジュールを作成すること, c) ITERの敷地条件を明確にし、安全性と環境について解析すること, を含むものである。研究開発活動には設計活動を支援する有効で特定さ

れた研究開発作業を調整された形で実施するよう記されている。

2.2 スケジュール

概念設計活動を定義段階と設計段階の2つに分ける。定義段階に於ては単一の技術的特性を持った ITER 概念が後述する指針に基づいて明らかにされる。この作業は報告書に纏められ、1988年11月までに ITER 評議会(後述)の承認を受ける。この後直ちに設計段階が開始される。設計段階の結果は最終報告書に纏められ、1990年12月31日までに概念設計活動は終了する。

2.3 ITER 概念設計の指針

2.3.1 計画上の目的

ITERの総合的な目的は核融合炉の技術的科学的可能性を示すことである。ITERはこの目的を重水素・三重水素プラズマの制御された自己点火と長時間燃焼(究極的には定常状態が目標)を実証し、総合システムとしての核融合炉にとって本質的な技術を実証し、そして核融合の熱を実際の目的に利用するために必要な高熱負荷と核的構成要素の総合試験を実施する事により達成する。

ITERの基本となる装置は工学設計と建設へと進む判断をすることができるよう、概念設計が終了する時点で入手可能な科学的かつ工学的なデータベースに基づく。しかしながら進んだ特性や新しい可能性の導入が可能なよう十分に柔軟な設計とする。ITERは国際協力を十分に利用し、かつ合理的な経費で目的を達成するように設計される。

重水素・三重水素プラズマの制御された自己点火と長時間燃焼を実現し、究極的には定常状態とするのがプラズマ物理の目的である。工学上の目的は核融合炉の概念設計の有効性と炉構成要素の健全性を示し、工学システムの信頼性と炉の保守性を実証する事である。また ITERはニュートロニクス、ブランケット、トリチウム生産、そして進んだプラズマ技術の試験装置として使用される。

2.3.2 技術的目的と特性

水素・重水素プラズマの最適化の後、ITERは次の2つの段階で運転される。物理段階ではプラズマ物理目的を達成する事に重点を置く。工学段階では工学目的と試験計画に重点を置く。

物理段階では先ず制御された燃焼状態の下でパルス運転され、その後出来るだけ大きなQ値を狙って燃焼パルスを延ばす。工学段階では定常運転が望ましいのでQ値が5程度であっても定常運転を狙う。

ITERは自己点火に達するに十分な閉込め性能を持つように設計される。炉相当のトカマクプラズマの閉込め性能に関しては未だかなりの不確定さがあり、ITERの閉込め性能を決めるには十分な注意が必要である。閉込め性能を示す1つの方法にプラズマ電流がある。ITERに可能な磁場で自己点火に必要なプラズマ電流は10MA 弱から20MA あるいはそれ以上の範囲となる。この範囲を完全に満たすことは困難であるが、自己点火実験をする ITER装置の電流を流す能力としてはこの範囲を大部分カバーするものとする。

物理段階に於いて ITERは必要な最少パルス長を純粋な誘導電流駆動により達成出来る能力を持つ。定常運転は中性粒子ビームか高周波或いはそれらの共用で出来るだけ早い時期に試験され実施される。

核融合炉相当の条件下でのニュークリアと高熱流束機器の試験をするため平均中性子壁負荷として約 $1\text{ MW}/\text{m}^2$ が必要である。

寿命中有効な中性子フルーエンスを約 $1\text{ MWa}/\text{m}^2$ とする。但し、設計は $3\text{ MWa}/\text{m}^2$ 程度のより高い中性子フルーエンスの可能性を許容出来るものとする。

工学段階に於いては装置の信頼性と稼働率を損なうことの無い範囲において ITER は出来るだけ 1 に近い増殖率を達成する事の出来るトリチウム増殖ブランケットを装着する。信頼性の為にはトリチウム増殖ブランケットは将来の炉に向かない設計であっても良い。増殖ブランケットの目的はトリチウムを外部供給に依存することによる装置の稼働率の制限を避けるためである。

上述の中性子フルーエンス約 $1\text{ MWa}/\text{m}^2$ を妥当な運転期間内で達成するためには工学段階での平均稼働率は少なくとも 10 % 程度必要である。信頼性の向上した数年間の最大稼働率は 25 % に達する。また 1 ~ 2 週間非常に高い稼働率(連続運転)で運転する必要がある。

2. 4 組 織

概念設計活動は ITER 評議会(IC : ITER Council , 議長 : J. F. Clarke [USA])と ITER 運営委員会(IMC : ITER Management Committee)の 2 つの組織によって管理・運営される。また ITER 評議会に対する諮問機関として ITER 科学諮問委員会(ISTAC : ITER Scientific Technical Advisory Committee , 議長 : B. B. Kadomtsev [USSR])を設ける。以下に各組織の構成, 手続き, 機能について述べる。

2. 4. 1 ITER 評議会(IC)

各参加国から 2 名の評議員が推薦され, 全会一致によって行動する。少なくとも年 2 回会合し, ITER 運営委員が参加する。評議員の中から議長を選出する。

ITER 評議会は概念設計活動全体の管理について責任を持ち, 作業の遂行の全体的監督をする。特に, 概念設計活動作業計画の承認, 報告書の承認, 概念設計活動への同等の寄与の確保, IAEA 事務総長への報告を行う。

2. 4. 2 ITER 運営委員会(IMC)

各参加国から 1 名の運営委員が推薦され, 全会一致によって行動する。その機能遂行の必要に応じて会合する。運営委員の中から議長を選出する。

ITER 評議会の決めた全体方針に従い概念設計活動の遂行に責任を負う。ITER 装置の首尾一貫し実現可能な概念設計を達成するために設計作業の調整と運営に当たる。特に, 設計と研究開発活動計画の作成, ITER 評議会への報告, 作業の平等な割付け, 報告書の作成と提出, 作業結果の評価, その他 ITER 評議会・ITER 科学諮問委員会への必要と情報の提供を行う。

2. 4. 3 ITER 科学諮問委員会

ITER 評議会により指名された 12 名(各国から 3 名)の委員により構成され, 各委員は個人的立場で

参加する。概念設計活動の遂行に必要な全ての専門分野をカバーするように選出される。ITER評議会の要請により会合が持たれ、ITER運営委員が出席する。委員の中から議長を選出する。

ITER評議会の要請に応じて科学技術事項について助言する。

2. 5 設計活動

設計活動はITER運営委員会により調整され、数カ月間の協同作業、母国での設計作業、特定の技術課題に関するワークショップが必要となる。母国での設計作業として全期間に亘り80－100人・年に相当する寄与をする。

設計活動の定義段階は1988年3月に始まり、1988年9月に終了し、この作業結果は定義段階報告書に纏められる。設計段階は定義段階報告書の承認後直ちに開始され、1990年12月31日までに完了する。

定義段階の目的はプラズマ設計概念の決定、主要な設計条件の選択、不純物制御方式・加熱と電流駆動方式・磁場コイル技術・増殖ブランケット・材料・炉の保守等の主要な設計課題の選択、プラズマ主要諸元・コイル形状・運転シナリオなどの決定、予備的な炉構造の決定、必要な研究開発課題の選択、報告書の作成である。

設計段階の目的は補助システムを含む炉の概念設計、安全性と環境解析、敷地の必要条件、将来必要な研究開発課題、建設と運転の経費・人的資源・計画の推定、最終報告書の作成である。

単一の設計に纏める為に必要となる集中的な作業を考えると数カ月間に亘る協同作業(約40名、各国から10名)が必要となる。

2. 6 研究開発活動

研究開発活動は概念設計の実現可能性を立証する重要な項目に焦点を絞る。研究開発活動は母国の研究所で実施し、もし必要であれば既存の二国間或いは多国間協定を利用しても良い。参加国は研究開発活動に年間\$10Mに相当する平等の貢献を行う。

研究開発活動結果をITER運営委員会に報告書として提出する。報告書は公開される情報を含み、財産的或いは開示制限的信息は含まない。

定期的なワークショップに進捗状況が報告され、設計の必要性和整合するように計画が調整される。これらの会合はITER運営委員会より計画される。

3. 設計作業開始までの準備

設計作業の大枠については上記のようになっているが、その具体的内容については1988年春から始まる設計作業開始前に詰めておく必要がある。この準備をするためにITER運営委員会委員が決められ、その作業を進めている。現在のITER運営委員会メンバーの任期は初期の約半年間の定義段階とされており、それ以降については定義段階期間中に決められる予定である。

準備作業の主要な検討課題は定義段階の詳細なスケジュール、作業内容、設計活動の具体的な進め方と組

織，作業を進めるのに必要となる環境の整備，設計参加者の決定等である。ITER運営委員会はこれらの課題を1987年12月，1988年2月の会合で議論し，草案を作った後，3月のITER評議会へ提案することになるものと予想される。定義段階の数カ月に亘る協同作業の実施場所は第2回QICに於て西ドイツのGarching プラズマ物理研究所で実施することが決っている。