

核融合炉プラント・制御技術

核融合炉プラント・制御技術調査専門委員会編

目次

1. まえがき	3	5. 核融合原型炉設計の現状	20
1.1 調査専門委員会の目的	3	5.1 トカマク型原型炉の設計	20
1.2 調査専門委員会活動の概要	3	5.2 ヘリカル型核融合炉の設計	20
2. 核融合炉プラントが接続される電力系統の動向	3	5.3 放射線環境	21
2.1 核融合プラント制御への要望	3	6. 核燃焼プラズマの制御	23
2.2 再生可能エネルギーの台頭	4	6.1 核燃焼プラズマ制御に必要な機能	23
2.3 電力系統制御の現状	5	6.2 炉心プラズマ燃焼制御の特徴と課題	23
2.4 電力系統の規模と核融合プラント	6	6.3 特徴的時間	24
2.5 国際的な電力網の規模	8	6.4 アクチュエータ	27
3. 原子力発電プラントの制御	8	6.5 制御系開発の取組	27
3.1 原子力発電プラントの概要	8	7. 核燃焼プラズマの計測	32
3.2 中央制御室監視システム	9	7.1 必要とされる計測の種類	32
3.3 制御システム設計	9	7.2 プラズマ変位の計測	35
3.4 計装システム設計	11	7.3 計測器設置の総合評価	36
3.5 事故時運転継続要件（F R T要件）	12	7.4 研究開発が必要な計測器	38
4. 核融合実験装置における制御	12	7.5 計測器環境制約とシミュレーションコード	38
4.1 大型ヘリカル装置（LHD）における制御	12	8. まとめ	40
4.2 J T - 6 0 S Aにおける制御	15	8.1 技術課題	40
4.3 I T E Rにおける制御	17	8.2 アクションプラン	40
		8.3 今後の調査専門委員会活動	41

核融合炉プラント・制御技術調査専門委員会委員

委員長	尾崎 章(東 芝)	委 員	嶋田 隆一(東京工業大学)
幹 事	力石 浩孝(核融合科学研究所)		中村 衆(K E K)
幹 事	筒井 広明(東京工業大学)		野村 新一(明 治 大 学)
委 員	今井 剛(筑波大学)		山内 邦仁(那珂核融合研究所)
	入江 克(早稲田大学)		米永 裕司(中央製作所)
	太田 完治(三菱電機)		(途中交替)
	大山 正孝(中部電力)		山崎 直(中部電力)
	岡野 邦彦(慶応義塾大学)		
	小口 治久(産業技術総合研究所)		
	坂本 宜照(六ヶ所核融合研究所)		

1. まえがき

1.1 調査専門委員会の目的

これまで建設・運転されてきた核融合実験装置はいずれもプラズマ物理および工学分野での実験を目的とした実験装置であった。これに対して、今後設計・建設が予定されている核融合原型炉およびその後続く実用炉は、発電し電力を供給するプラントである。この違いにより、原型炉以降の炉においては、実験装置では必要とされなかったプラントとしての制御技術が必要となる。

現在建設中の国際熱核融合実験炉（ITER）や国内において運転中の大型ヘリカル装置（LHD）などの核融合プラズマ実験装置でも、個別の構成機器あるいは全体装置としての制御は行われている。たとえば実験装置を構成する極低温ヘリウムを供給するヘリウム液化設備などでは半年近い連続稼働を必要としており、その運転制御は他の産業プラントと同様なものとなっている。しかしながら、装置全体としてはプラズマ実験を主目的とした実験装置の枠に収まっており、核融合原型炉以降の装置と比べると、核融合出力による発電を行わない、プラズマ放電を伴う運転時間が短時間である、という違いがあり、全体の制御設計にもそれが反映されている。

原型炉および実用炉においては、核融合出力による発電および連続運転が必要であるのみでなく、制御の目的もプラズマ実験のための制御から電力供給のための制御と大きく切り替える必要がある。原型炉における計測制御の検討は現在まさに着手されはじめたところである。国内においては、松田慎三郎氏が中心となって2013年度に核融合科学研究所の共同研究として取りまとめを行った「原型炉計装制御報告書」がある。これは、ITERでの計装制御に基づき、原型炉の炉心プラズマ計測に関して、炉心制御を行う観点から必要となる計測事項を取りまとめたものである。そのため、発電制御に関する事項などは対象とされていない。また、他の設計検討においても炉心部の検討はされているが、発電制御まで含めた連続稼働する電力供給プラントとしての運転およびその制御検討には着手されていないのが現状である。

そこで、原型炉以降に必要とされるプラントおよびその制御技術に関して調査・検討することで、実用炉に向けた今後の技術開発に資することを目的として、調査専門委員会の活動を行った。

1.2 調査専門委員会活動の概要

核融合炉プラント・制御技術調査専門委員会（以下本専門委員会と略す）は、2015年1月に発足し、2016年12月までの2年間、調査活動を行った。調査期間中、5回の本専門委員会と、1回のシンポジウムおよび2回の見学会を開催し

た。調査内容としては、核融合プラントおよびその制御にかかわる事項に関して、本専門委員会に講師をお招きしての講演を中心に、以下の技術調査を行った。

- 1) 電力システムから要望される核融合発電の制御
- 2) 原型炉などを接続する電力システムの制御およびその特性
- 3) 既存の核融合プラズマ実験装置（JT-60, LHD）における運転制御と制御技術
- 4) 既存の軽水炉発電炉におけるプラント制御および特徴
- 5) 現在検討が進められている核融合原型炉における計測および制御の現状および展望

この調査により、原型炉および実用炉に対して、核融合反応を維持するために必要なプラントおよび計測・制御のみでなく、実用炉を接続し運用する環境、すなわち電力システムを運用する面から要望される制御や原型炉の参考になるであろう現行の軽水炉制御について俯瞰することができ、今後の原型炉および実用炉実現に向けた研究開発に向けての指針を得ることができた。

2. 核融合炉プラントが接続される電力システムの動向

核融合炉を電力システムと接続して運転するためには、核融合炉のみでなく電力システムとの協調運用が必須となる。そこで、電力システムに関して、中部電力、東京大学、東京工業大学、京都大学の講師により講演を頂いた。

2.1 核融合プラント制御への要望

(1) 電力システムの運用

まず、電力システムの目的について、低廉で高品質（高い信頼性、電圧や周波数が安定している）の電力を需要家に届けること、との定義を明らかにした。このため、電力システムは、各構成要素を有機的に連係することで目的を果たしている。構成要素としては、発電所、送電線および変電所、配電線、負荷などからなり、人工のシステムのうち最大のものの1つである。その特徴として、システムが屋外に張り巡らされており苛酷な自然環境に晒されていることから、事故が避けられない点が上げられる。また、系統上で起きた事象は送配電線や変電所といった電気接続を通じて、ほぼ光速で伝播することから、各瞬時に需給バランスを取る必要がある。

電力の供給としては、電気出力および応答性から、大別して一定の電力を供給するベース供給力、時間単位の変動を吸収するミドル供給力およびさらに短い時間で電力調節を行い需給のバランスを保つために使われるピーク供給力に分類できる。これらを組み合わせて、一日あたりの電力変動とバランスした電力供給を実現する。