

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3954659号
(P3954659)

(45) 発行日 平成19年8月8日(2007.8.8)

(24) 登録日 平成19年5月11日(2007.5.11)

(51) Int. Cl.		F I			
G 2 1 D	3/04	(2006.01)	G 2 1 D	3/04	G D B A
G 2 1 C	7/26	(2006.01)	G 2 1 C	7/26	A
G 2 1 D	3/08	(2006.01)	G 2 1 D	3/04	D
			G 2 1 D	3/08	K

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平7-190940	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成7年7月27日(1995.7.27)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65) 公開番号	特開平8-170998		GENERAL ELECTRIC CO
(43) 公開日	平成8年7月2日(1996.7.2)		MPANY
審査請求日	平成14年7月1日(2002.7.1)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
(31) 優先権主張番号	08/283694		クタデイ、リバーロード、1番
(32) 優先日	平成6年8月1日(1994.8.1)	(74) 代理人	100093908
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 松本 研一
		(72) 発明者	ユージン・チャールズ・エッカート
			アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ロス
			・ゲイトス、バーバラ・ドライブ、209
			番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 過渡的過出力に対する強化保護系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原子炉における過渡的過出力に対して防護を行うための保護系において、
前記原子炉の運転出力レベルを監視する監視手段(20)と、
前記監視された運転出力レベルが第1の設定値を越えて予定外の上昇を示した場合に前記原子炉を自動的に緊急停止する装置を作動する手段(16)と、
前記運転出力レベルの予定された変化の際には、前記監視された運転出力レベルよりも第1の所定マージンだけ高くなるように前記第1の設定値を自動的に調整し、前記運転出力レベルの予定外の変化の際には、前記第1の設定値を維持する手段(12)と、
を有することを特徴とする保護系。

【請求項 2】

前記第1の設定値が原子炉保護系の代替処置を自動的に開始させる請求項1記載の保護系。

【請求項 3】

前記監視手段が前記原子炉の運転出力レベルを表す濾波信号を発生する手段を有する請求項1記載の保護系。

【請求項 4】

更に、前記運転出力レベルの前記予定された変化にตอบสนองして第2の設定値を前記監視された運転出力レベルよりも第2の所定マージンだけ高くなるように調整する手段(14)と、

前記監視された運転出力レベルが前記第2の設定値を越えて予定外の上昇を示した場合には運転員に警告を与えると共に、予定外の外乱に対処しかつ前記原子炉の完全なトリップを回避するための所定の処置を自動的に開始させる警報装置を作動する手段(18)とを含んでいる請求項1記載の保護系。

【請求項5】

更に、原子炉再循環流量レベルを監視する手段、及び前記監視された原子炉再循環流量レベルを利用して前記第1及び第2の設定値の一方を更に調整する手段を含んでいる請求項4記載の保護系。

【請求項6】

更に、原子炉容器圧力、炉心温度、原子炉給水温度、原子炉給水流量及び原子炉蒸気流量から成る群より選ばれた原子炉パラメータを監視する手段、及び前記原子炉パラメータを利用して前記第1及び第2の設定値の一方を更に調整する手段を含んでいる請求項4記載の保護系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】

本発明は、沸騰水型原子炉(BWR)を用いた原子力発電所用の燃料及び原子炉保護系の強化に関するものである。

【0002】

【発明の背景】

通常のBWRは、核燃料から熱を取去るための循環冷却材(すなわち水)中に沈められた炉心を収容する圧力容器を含んでいる。かかる水を沸騰させることにより、蒸気タービン発電機を駆動して電力を生み出すための蒸気が発生される。それぞれの配管回路により、加熱された水又は蒸気が蒸気発生器又はタービンに送られると共に、再循環水又は給水が圧力容器に戻される。

【0003】

かかるBWRは、要求条件に応じてその様々な個別動作を制御する幾つかの常用閉ループ制御系を含んでいる。たとえば、通常の再循環流量制御系(RFC)によって炉心流量が制御され、それによって炉心の出力が決定される。また、制御棒駆動系によって制御棒の位置が制御され、それによって炉心の反応度を決定する炉心内の制御棒密度が調節される。更にまた、タービン制御装置により、要求負荷及び圧力調整条件に基づいてBWRからタービンへの蒸気流量が制御される。

【0004】

これら全ての制御系及びその他の常用制御系の動作は、BWRの様々な監視パラメータを用いて制御される。かかる監視パラメータの実例としては、RFCによって制御される炉心流量、(圧力容器からタービンに排出される蒸気の圧力である)原子炉容器ドーム圧力、中性子束又は炉心出力、給水の温度及び流量、タービンに供給される蒸気の流量、並びにBWR系の様々な状態指標が挙げられる。多くの監視パラメータは通常のセンサによって直接に測定されるが、(炉心の熱出力のとき)一部のものは測定されたパラメータを用いて計算されるのが通例である。これらの状態監視用パラメータはそれぞれの制御系からの出力信号として得られる。

【0005】

元来、原子炉はそれらの使用に付随した危険物質に由来する危険をできるだけ小さくするように設計されている。BWRにおいて使用される材料は、様々な負荷条件、環境条件及び放射線条件に耐えるものでなければならない。たとえば、BWRの場合、原子炉圧力容器の運転圧力及び温度はそれぞれ約7MPa及び288°Cである。それ故、原子炉圧力容器の壁体は数インチの厚さを有しており、また極めて強靱な材料が原子炉部品用として使用されている。とは言え、部品は数十年間にわたって運転応力に暴露されるから、故障に対する対策が要求されている。これらの対策の中には、幾重もの予防装置が含まれるばかりでなく、起こった問題を解決するための手順も含まれている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

従来の原子炉制御系は、要求条件の変化に応じて安全な運転状態を維持するための自動及び手動制御装置を含んでいる。幾つかの制御系は、所定の要求条件信号にตอบสนองして原子炉の運転を制御する。また、炉心の熱的及び水力学の特性を解析して炉心を制御するために計算機プログラムが使用される。かかる解析は、解析や経験によって知られた過渡現象及び事故現象並びに原子炉物理及び熱的・水力学の原理の中から選ばれた核データに基づいて行われる。異常な過渡現象が起こった場合、原子炉運転員は状況を診断し、そして適切な訓練、経験及び判断に基づいた矯正処置を行うことができるのが通例である。手動による矯正処置が十分であるかどうかは、現象の内容並びに運転員の知識及び訓練の程度に依存する。現象が重大なもの（すなわち、原子炉の何らかの安全限界を脅かすもの）である場合、原子炉トリップ（これは原子炉の運転停止、スクラム又は全制御棒の挿入と呼ばれることもある）が必要となることがある。ある種の過渡現象は、急速に（すなわち、運転員の反応能力を越えた速度で）起こることがある。このような場合には、原子炉トリップは自動的に達成される。安全解析の結果、一般に、想定された現象の発生から 10 分以内にはいかなる運転員の操作も不要であることが示されている。

10

【 0 0 0 7 】

従来の原子炉保護系は、原子炉の運転状態を監視し、そして異常な現象が感知されると危険な状態又は危険性のある状態を防止するための処置を開始するマルチチャネルの電氣的警報・作動系から成っている。かかる従来の保護系は 3 つの機能を果たす。それらは、（ 1 ）特定の監視パラメータの限界を越えた場合に原子炉の運転を停止させる原子炉トリップ、（ 2 ）原子炉容器及び格納容器隔壁を貫通する全ての連結部品を隔離する原子炉系の隔離、並びに（ 3 ）冷却系や残留熱除去系のごとき通常の緊急安全系を作動する工学的安全装置の作動である。

20

【 0 0 0 8 】

BWRにおいては、原子炉が（準備過程及び起動過程を経て）定常出力領域内において運転されている場合、炉心出力保護方式が採用されるのが通例である。最大安全運転レベルを越えて出力を上昇させる可能性のある特定の過渡現象に対しては、原子炉のトリップが開始される。一般に、定格出力の約 120 % に等しい過出力は燃料棒に損害を与えることなしに耐えることができる。熱出力がこの限界値（すなわち最大安全レベル）を越えたり、あるいは原子炉系に危険をもたらすその他の異常状態が起こったりすると、原子炉保護系は原子炉トリップを引起す。

30

【 0 0 0 9 】

原子炉保護系の必須条件の 1 つは、必要な時にそれが必ず動作することである。それ故、運転員が原子炉の運転中における異常な過渡現象の原因を迅速かつ適格に判定し、そして即座に矯正処置又は緩和処置を行わなければ、従来の原子炉保護系は自動的に原子炉トリップを引起す。しかしながら、原子炉トリップが所望若しくは要求されない場合（すなわち、計装中にエラーが存在する場合、あるいは機能障害が原子炉トリップを必要としない程度に小さいものである場合）には、原子炉トリップを回避することも重要である。

【 0 0 1 0 】

従来、満足すべき燃料及び原子炉保護を確実に維持するために 3 つの主要な出力関連方法が使用されてきた。これらの方法は、いずれも中性子束を監視することによって出力の上昇を感知するものであるが、原子炉トリップを開始させる方法の点で異なっている。第 1 の保護方法は、監視された中性子束が固定された所定の設定値を越えた場合に原子炉トリップ（又は運転停止）を引起すものである。このような最大運転レベルは、定格出力の約 120 % に等しいのが通例である。

40

【 0 0 1 1 】

第 2 の保護方法は、監視された中性子束が流量を基準とした所定の設定値を越えた場合に原子炉トリップを引起すものである。この方法においては、炉心流量が大きい場合の設定値は第 1 の方法の設定値に等しい。しかるに、炉心流量が減少すると設定値も低下する。

50

第3の保護方法は、中性子束信号を電子的に濾波することにより、模擬熱出力（STP）と呼ばれる信号を発生する工程を含んでいる。通常の技術によれば、燃料棒の熱的応答に近似した単一の時定数フィルタが使用される。かかるSTP信号が第2の方法における流量を基準とした設定値を越えた場合に原子炉トリップが開始される。通例、第3の方法は、第1の方法と組合わせて使用される。

【0012】

これら3つの公知方法においては、定常運転範囲の上部における運転中に不要のトリップが起こるのを回避するため、原子炉トリップ設定値は定常運転範囲よりも高くなっている。部分的な炉心出力及び流量条件のために追加の保護が必要な場合には、設定値は手動によって調整される。このような手動調整は原子炉運転員にとって煩わしいものである。しかるに、もし設定値の調整を行わなければ、全ての運転出力及び流量条件において満足すべき保護を確保するために複雑に制限された炉心運転範囲が必要となる。

10

【0013】

更にまた、部分出力及び流量範囲内における緩徐な過渡現象が新たに想定されるに至っているが、これらは上記のごとき従来の保護方法の有効性を脅かすものである。これらの緩徐な過渡現象は、現行の高出力保護設定値を回避するものと考えられている。なお、想定された過渡現象は緩徐なものであるから、原子炉運転員は手動によって適当な緩和処置を行なうことができる。

【0014】

【発明の概要】

20

本発明は、原子炉過出力防護用のトリップ設定値をBWRの運転出力レベルよりも所定のマージンだけ高くなるように自動的に調整し、それによって起こり得る過渡現象の緩和を強化するための保護系に関する。強化された保護が実現されるのは、監視された運転パラメータが予定外の増加を示す場合である。本発明は通常の過渡現象に対する強化された保護を可能にするばかりでなく、必要な場合には新たに想定された緩徐な過渡現象に対する自動的な保護をも可能にする。更に詳しく述べれば、本発明は原子炉が最大運転レベルよりも低いレベルで運転されている場合において強化された原子炉保護を行う。

【0015】

原子炉が100%出力レベルで（すなわち、最大運転ラインに沿って）運転されている場合、本発明によって与えられる設定値は従来の保護系における設定値とほぼ等しくなるように自動的に調整される。しかるに、原子炉が部分出力状態で運転されている場合には、本発明は部分出力運転点により近い設定値を与え、それにより原子炉条件の予定外の変化に応じて原子炉系の運転停止を可能にする。原子炉の運転に関しては、「過渡現象」という用語は一般に任意の1つ以上の重要な運転パラメータの正常値からの有意な偏差（たとえば、最大運転ラインを越えてはいないが、原子炉にとって有害であり得る予定外の出力上昇）を意味する。過渡現象が原子炉系の許容運転範囲内にある軽微なものである場合には、本発明はかかる偏差を補償するように制御系（すなわち設定値）を自動的に調整する。しかしながら、過渡現象が予定外の大きなものである場合には、設定値を越えることになる。設定値を越えた場合には、原子炉保護系が作動される。その場合、原子炉保護系は原子炉の運転を停止させ、それによって炉心の損害を防止すると共に原子炉を安全な状態に維持する。過渡現象が制御系によって直ちに矯正し得ないようなものである場合には、原子炉保護系が原子炉の運転を自動的に停止させる。保護系が危険な状態の発生の可能性を表示した場合には、警報が鳴って原子炉運転員に警告を与える。その結果、運転員は矯正処置を行うか、あるいは手動によって原子炉の運転を停止させることができる。

30

40

【0016】

本発明に従えば、警報設定値及びスクラム設定値が運転出力状態に追従して調整されるようなBWR原子力発電所用の高出力保護系が提供される。（過渡現象の緩和処置を開始させるための）安全装置用設定値は、従来の保護系の場合よりも部分出力運転点にずっと近くなるように調整される。部分出力運転点に最も近い設定値は警報設定値であって、これを越えた場合には予定外の軽微な過渡現象の発生が先ず運転員に警告される。この警報（

50

及び場合によってはそれよりもやや高く設定された第2の警報)はまた、完全な原子炉トリップの回避を可能にする自動矯正処置を開始させるために使用することもできる。警報設定値よりも上方にスクラム設定値が位置していて、これを越えた場合には激しい過渡現象にตอบสนองして原子炉の運転が停止される。

【0017】

【好適な実施の態様の詳細な説明】

図1は、従来の保護系を示す典型的なBWR出力/流量運転マップである。この場合、警報設定値は運転点1よりも距離Aだけ上方に位置し、またスクラム設定値は運転点1よりも距離Bだけ上方に位置していて、いずれの設定値も最大運転ラインの上方に位置している。起動後におけるBWRの許容運転範囲は、キャビテーション領域よりも上方かつ最大運転ラインよりも下方に位置しており、また最小定常流量ライン及び最大定常流量ラインによって区画されている。従来の保護系においては、かかる運転区域の内部でBWRが運転される場合、出力レベルを最大運転ラインよりも上方にまで増加させないような予定外の過渡現象は設定値によって検出されず、従って原子炉トリップは起こらない。本発明は、(過渡現象の緩和処置を開始させるための)安全装置用設定値を従来の保護系の場合よりも運転出力レベル(たとえば、運転点1)にずっと近くなるように調整することによって上記の問題を解決するものである。このような原理は、必要に応じて、図1に示された定常出力/流量運転範囲の全域にわたって適用することができる。

10

【0018】

図2は、本発明によって可能となる強化された保護を示すBWR出力/流量運転マップの一例である。原子炉が100%出力レベルで(すなわち、最大運転ラインに沿って)運転されている場合には、本発明によって与えられる設定値は従来の保護系の場合と実質的に同じ位置(すなわち、図1中の運転点1よりも距離A又はBだけ上方の位置)に自動的に調整される。しかるに、原子炉が部分出力状態(たとえば、図2中の運転点1)において運転されている場合には、本発明はその運転点により近い警報設定値及びスクラム設定値を与える。図2中において、A1及びA2は運転点と2つの警報設定値との間の調整マージンを表し、またBは運転点とスクラム設定値との間の調整マージンを表す。

20

【0019】

本発明に基づく追従論理回路は、警報設定値及びスクラム設定値がBWRの運転範囲内の任意の運転点から所望の距離(A1、A2及びB)だけ上方に位置するようにそれらの調整を制御する。本発明に含まれる代表的な信号及び機能を図4に示す。本発明によって追加される新しい論理回路部分は、従来の保護系の構成要素から破線10によって区分されている。この簡略ブロック図は本発明の基本原理を説明するためのものである。そこには原子炉保護機能のために必要な冗長系は示されておらず、またこれが本発明の機能論理を実現するための唯一の方法であると解すべきでない。

30

【0020】

図4について説明すれば、本発明の追従スクラム設定値論理回路12及び追従警報設定値論理回路14(簡略化のため1つの警報機能のみを示す)は、予定された出力上昇に際してスクラム設定値及び警報設定値を自動的に増加させることによって所望のトリップマージンを維持する。これらの設定値は、フィルタ20からのSTP信号を監視するためのスクラムトリップ装置16及び警報トリップ装置18によってそれぞれ使用される。原子炉のスクラムは、スクラムトリップ装置16又は高出力トリップ装置22からのスクラム信号の発生によって開始させることができる。

40

【0021】

予定された出力変化は許容入力信号によって確認されるが、この許容入力信号は原子炉運転員によって手動的に発生されることもあれば、通常出力上昇方法(たとえば、制御棒の引抜き又は再循環流量設定値の増加)に伴って発生されることもある。しかるに、予定外の出力上昇が起こった場合には、追従論理回路は特に制御されない限り設定値を増加させることがなく、それによって強化された保護が達成される。かかる設定値の調整は、出力レベルを顕著に低下させる任意の原子炉操作にも自動的に追従する。このようにして、

50

保護設定値は新たな最終運転点の近くに再調整される。また、本発明の機能を所望の運転範囲内に制限するため、設定値の上限及び下限を設定することもできる。

【0022】

本発明の追従論理回路は、(図2に示された)STPスクラム信号(B)と共に1つ以上の警報信号(A1、A2)を使用することができる。完全な原子炉トリップ(又はスクラム)を回避するための能動的機能を実行するために警報信号を使用することは、本発明のもう1つの重要な特性である。警報設定値(A1、A2)においては、運転員に警報を与えることに加え、スクラムによって起こされる原子炉の完全な運転停止に付随した運転上の不都合をもたらすことなしに出力上昇を停止させるための様々な処置を開始させることができる。かかる処置としては、制御棒引抜きの遮断、原子炉再循環流量の低下、及び特定の制御棒の挿入が挙げられるが、それらのみに限定されるわけではない。

10

【0023】

本発明のもう1つの特徴は、他の原子炉パラメータからの信号に基づいて高出力トリップ設定値の補足調整を行うような態様を選択し得ることである。たとえば、原子炉圧力、原子炉再循環流量又は給水温度に応じて設定値を調整することができる。本発明の原子炉保護系はまた、追従スクラム設定値論理回路12への入力として、濾波されたSTP信号及び(又は)直接の中性子束信号(すなわち、図4中の「出力領域モニタ信号」)を使用する能力をも有している。直接の中性子束信号と共に使用される設定値は、偶発的な作動を回避するため、STP信号フィルタ20と共に使用される設定値よりも高くすることが必要である。

20

【0024】

図3は、再循環流量信号によって補足調整された追従設定値を使用する本発明の応用例を示している。原子炉が全出力レベルで(すなわち、最大運転ラインに沿って)運転されている場合、この応用例は多くの点で図2に示された例と同様であって、最大予想設定値は従来の保護系の設定値とほぼ等しくなるように調整される。かかる設定値はまた、任意の部分出力運転点(たとえば、図3中の運転点1)から所望のマージンだけ高くなるように調整される。この応用例の特徴は、スクラム設定値及び警報設定値が原子炉再循環流量の変化に応じて自動的に変化することである(すなわち、これらの設定値は図3中の運転点1の上方において流量を基準とした勾配を有している)。図3中にはまた、追従設定値論理回路と共に直接の中性子束信号を使用する別の応用例も示されていて、この場合のスクラム設定値はSTP設定値よりも上方の位置Cに調整されている。

30

【0025】

流量に伴う変化量(すなわち、図3中の運転点1の上方における設定値線の勾配)は、原子炉の流量及び出力操作に際して本発明の性能を最適化するように選定することができる。補助原子炉パラメータ(たとえば、この例における再循環流量)に応じた設定値の変化はまた、変化の大きさ及び(又は)方向の点で、本発明の応用例の効果を最適化するように制限されることもある。

【0026】

図3に示されるような流量基準態様を採用すれば、設定値は出力上昇が予定外の原子炉再循環流量の増加によって起こされる場合にも自動的に増加する。とは言え、その場合の設定値の増加は流量に依存する設定値変化の勾配に従って制御される量となる。

40

このように、本発明は原子炉の出力/流量運転範囲内のいかなる位置にある運転点にも近くなるようにトリップ設定値を調整することによって強化された原子炉保護を可能にするものである。運転点により近いトリップ(又はスクラム)設定値に加え、本発明は過渡現象に際して原子炉の完全な運転停止を回避するための自動的処置を開始させ得るよう同時に調整された警報設定値をも提供する。これらの設定値は出力低下に対して自動的に追従するが、設定値の増加は原子炉出力を上昇させる全ての予定外の過渡現象に関して強化された保護をもたらすように制限される。本発明の追従保護は、想定された緩徐な過渡現象を含む模擬原子炉過渡現象に対しても好ましく応答する。本発明の性能を例示するため、以下に幾つかの過渡現象の実例を示す。

50

【 0 0 2 7 】

【実施例 1】

(温度過渡変動、基本態様)

BWRにおいて起こり得る現象の 1 つは、炉心に供給される冷却水流の温度の変化である。これが起こり得る場合の一例は、給水ヒータの一部が正しく動作しなくなった場合である。図 5 及び 6 は、この種の現象に対する原子炉の計算された応答及び経時的な強化保護論理を示している。初期出力は 70 % であり、また原子炉は最大定常炉心流量の下で運転されているものと仮定される。

【 0 0 2 8 】

このような運転状態は、(図 6 に示された) 従来のスクラム設定値よりもかなりの距離だけ下方に位置している。図 5 及び 6 は、より冷たい水が原子炉に到達すると出力は徐々に上昇することを示している。この場合、STP 信号は本発明によって与えられる追従スクラム設定値にほとんど到達するまで増加する。

図 6 中には、追従警報及びスクラム設定値に対するマージンが過渡現象の進行に伴って示されている。この場合には、ただ 1 つの警報がシミュレートされており、そして (スクラム設定値への接近にかなり先立つ 60 秒前後において) 警報設定値に到達した時点ではいかなるスクラム回避処置も開始されなかった。

【 0 0 2 9 】

図 5 及び 6 においてシミュレートされた過渡現象は、現在許容されている給水温度の最大変化 (100 ° F) に等しいものである。それ以上の温度変化は起こりそうにない。しかし、万一それが起こった場合、それは本発明によって与えられるスクラム設定値に到達するはずである。それ故、本発明の原子炉保護系によって満足すべき原子炉燃料保護が確保されるのである。それに対し、従来の保護系は同じ過渡現象が起こったとしてもかかる保護をもたらすことがない。なぜなら、従来の STP 設定値は過渡出力よりも遥か上方に位置するからである。それ故、従来の保護系において保護を達成するためには運転員による手動処置が必要とされる。

【 0 0 3 0 】

この実施例において示された性能は、主として本発明の基本態様に適用されるものである。とは言え、過渡現象に際して炉心流量が一定に保たれる場合 (手動流量制御の場合) ならば、それは流量を基準とした態様に対しても適用される。この流量基準態様を採用した自動流量制御の場合における応答が次の実施例 2 に示される。

【 0 0 3 1 】

【実施例 2】

(温度過渡変動、流量基準態様)

本実施例においては、実施例 1 に記載されたものと同様な予定外の温度過渡変動が起こるものと想定されるが、原子炉は自動流量制御モードにおいて全出力で運転されているものと仮定される。自動流量制御の目的は、原子炉出力を初期出力レベル設定値に保つことにある。このような制御モードにおいては、上記のごとき過渡現象の出力上昇効果に対処するため、原子炉再循環流量が自動的に減少させられる。図 7、8 及び 9 は、この種の現象に対する典型的な応答を示している。これらの図は、模擬温度変化が原子炉出力を上昇させようとした場合、自動制御装置が出力をほぼ一定に保つように炉心再循環流量を減少させることを示している。図 7 及び 8 は主要原子炉パラメータを時間に対してプロットしたものである。

【 0 0 3 2 】

実施例 1 の場合と同じく、現在採用されている温度変化限界がシミュレートされた。過渡現象はいかなる防護処置も必要とすることなしに最終運転状態に落ち着く。とは言え、こうして制御される出力レベルはより少ない炉心水流によって維持されるから、それは原子炉燃料にとって不十分な冷却しか利用できないような状態に近付いていく。図 9 は、シミュレートされた過渡現象に際し、炉心流量を減少させて出力を一定に保ちながら原子炉の運転点がいかに移動するかを示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

本発明の流量基準態様は、再循環流量の減少に伴って追従設定値を低下させる。その結果、かかる過程の終了時までには、スクラム設定値は最終運転点の直ぐ上方に位置することになる。それよりも大きい温度過渡変動が起これば、新たな防護処置が開始されるわけである。現行の流量基準スクラム設定値もまた示されている。これは図 2 に示された特性に従うものであって、運転点からは遠く離れている。より低い初期出力（たとえば、実施例 1 の場合のように 7 0 % 出力）の下で過渡現象をシミュレートすれば、運転点と従来のスクラム設定値との差は更に大きくなるのに対し、本発明によって与えられる設定値はやはり運転点に近いままである。

【 0 0 3 4 】

10

【実施例 3】

（炉心流量及び出力の増加）

原子炉トリップを引起こすことなしに対処しなければならない一般的な原子炉操作の一例は、炉心流量制御系を用いた通常の出力量上昇である。図 1 0、1 1 及び 1 2 は、本発明がいかにしてこの種の操作に対処し得るかを示している。

【 0 0 3 5 】

このような状況下では、運転員は出力量上昇を計画してその準備を行うと共に、上昇の開始時には本発明の許容論理回路を作動する。原子炉及び本発明の論理回路の応答が図 1 0 及び 1 1 に示されている。このようなランプ状操作に際しては、炉心流量及び出力は徐々に増加する。本発明の追従設定値は原子炉出力と共に増加する。

20

【 0 0 3 6 】

S T P 信号と警報及びスクラム設定値との間には、必要に応じてマージンが維持される。図 1 0 及び 1 1 は主要原子炉パラメータを時間に対してプロットしたものである。図 1 2 は本発明に基づく設定値論理回路の追従動作を示している。警報設定値（本実施例では 2 つ）及びスクラム設定値に対するトリップ回避マージンは、図 1 1 の下部に示されるごとく、操作全体を通して初期マージンにほぼ等しく維持される。

【 0 0 3 7 】

以上、もっぱら例示を目的として本発明の好適な実施の態様が記載された。それ以外にも様々な変更態様が可能であることは、沸騰水型原子炉の保護系に精通した当業者にとって自明であろう。かかる変更態様の全てが前記特許請求の範囲に包括されることを理解すべきである。

30

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来の高出力保護系を示す B W R 出力 / 流量運転マップである。

【図 2】本発明の追従出力保護系を示す B W R 出力 / 流量運転マップである。

【図 3】本発明に従って追従設定値を再循環流量信号により補足調整する流量基準態様の追従出力保護系の一例を示す B W R 出力 / 流量運転マップである。

【図 4】本発明に従って変更された従来の追従出力保護系における典型的な信号及び論理回路を示すブロック図である。

【図 5】原子炉温度（サブクーリング）の過渡変動に対する主要原子炉パラメータの経時応答を示すグラフである。

40

【図 6】本発明の基本態様に従って 7 0 % 出力及び最大炉心流量の下で図 5 に示された原子炉温度（サブクーリング）の過渡変動に応答して決定された設定値を示すグラフである。

【図 7】自動流量制御モードで運転されている原子炉における原子炉温度（サブクーリング）の過渡変動に対する主要原子炉パラメータの経時応答を示すグラフである。

【図 8】本発明の流量基準態様に従って 1 0 0 % 出力及び 1 0 8 % 流量の下で図 7 に示された原子炉温度（サブクーリング）の過渡変動に応答して決定された設定値を示すグラフである。

【図 9】本発明における図 7 に示された原子炉温度（サブクーリング）の過渡変動に対する応答を示す出力 / 流量運転マップである。

50

【図 10】 予定された炉心流量及び出力の過渡変動に対する主要原子炉パラメータの経時応答を示すグラフである。

【図 11】 本発明の基本態様又は流量基準態様に従って 50 % 出力及び 45 % 流量の下で図 10 に示された炉心流量及び出力の過渡変動に応答して決定された設定値を示すグラフである。

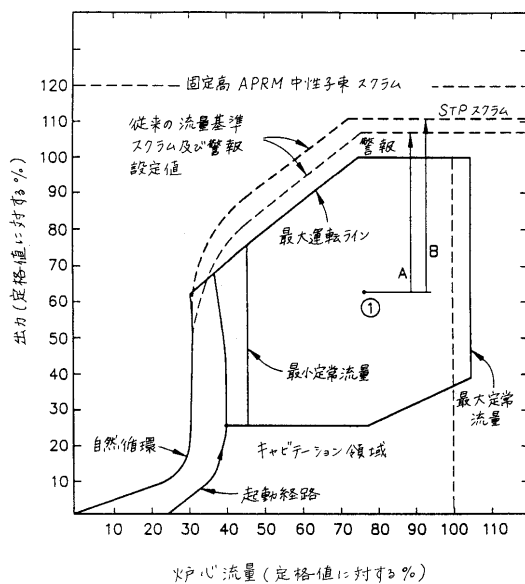
【図 12】 本発明における図 10 に示された炉心流量及び出力の過渡変動に対する応答を示す出力 / 流量運転マップである。

【符号の説明】

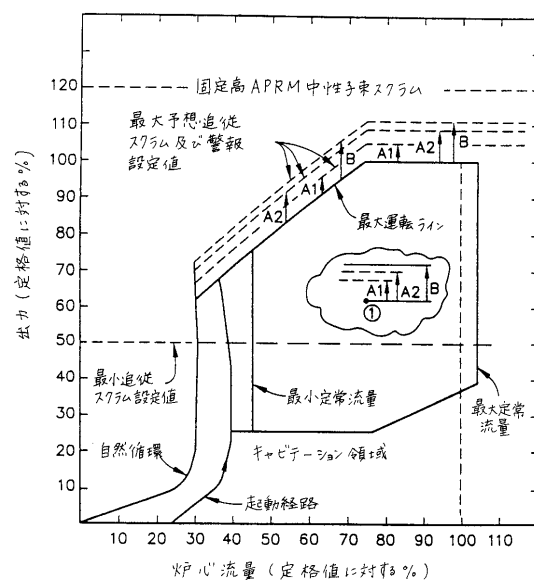
- 12 追従スクラム設定値論理回路
- 14 追従警報設定値論理回路
- 16 スクラムトリップ装置
- 18 警報トリップ装置
- 20 信号フィルタ
- 22 高出力トリップ装置

10

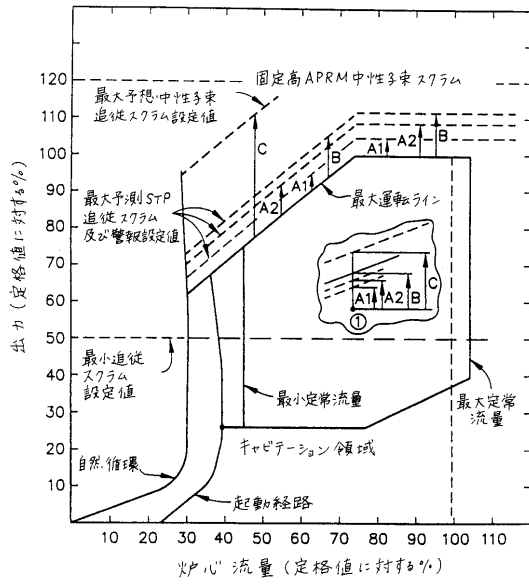
【図 1】



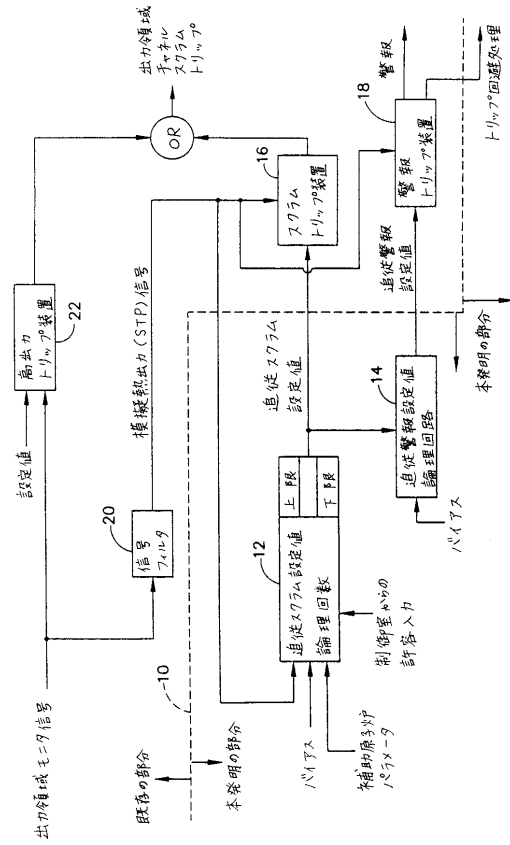
【図 2】



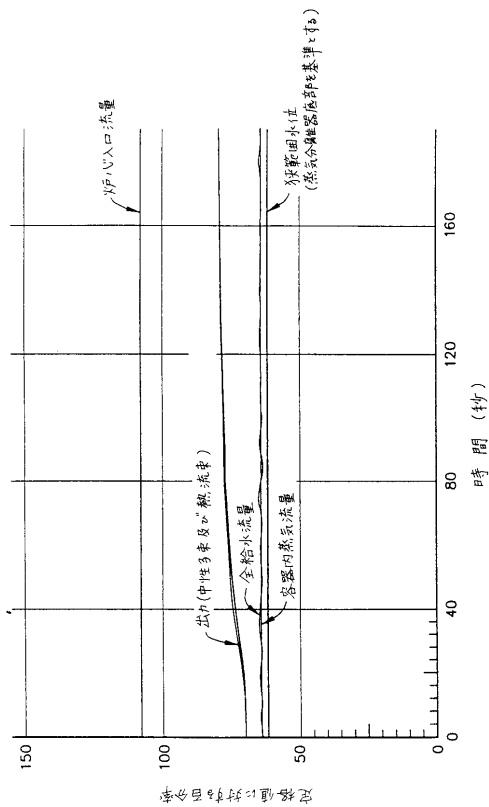
【図 3】



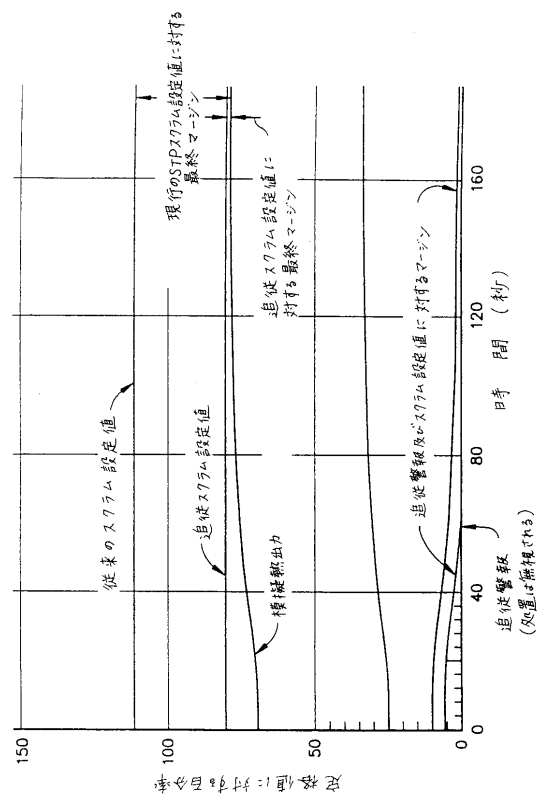
【図 4】



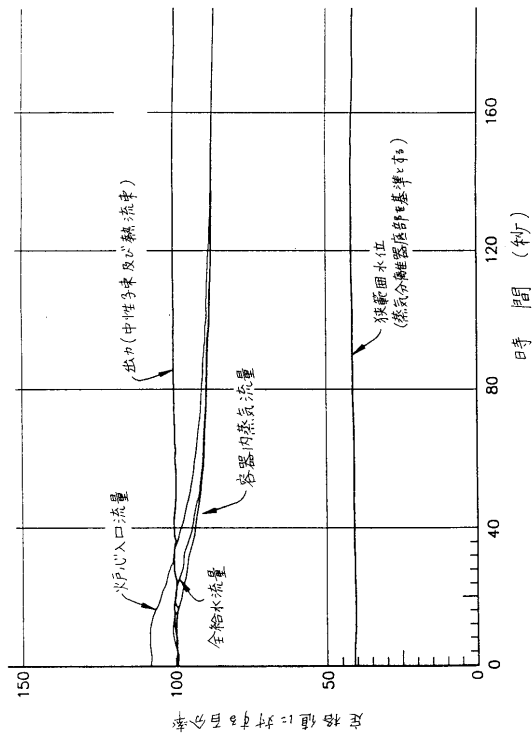
【図 5】



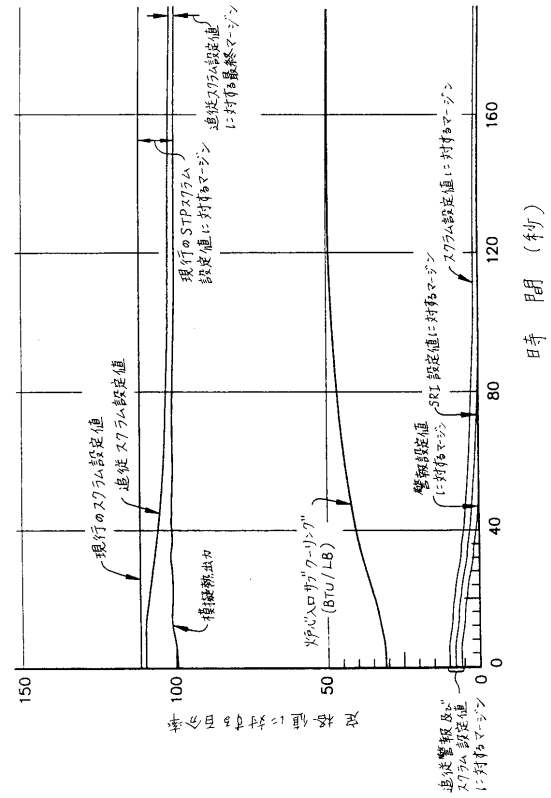
【図 6】



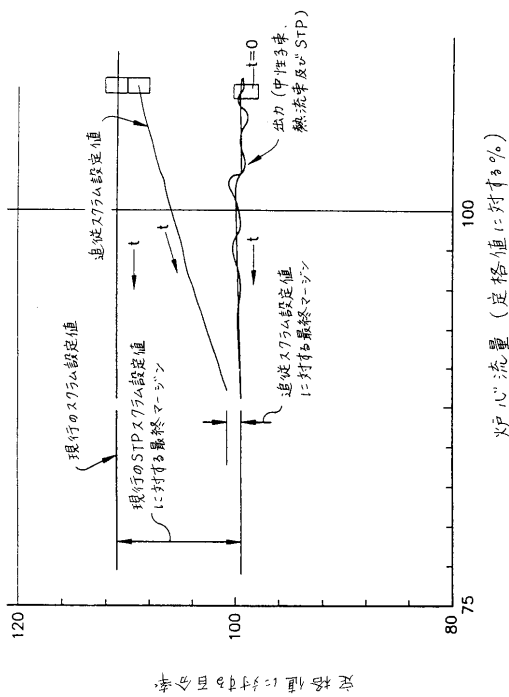
【図 7】



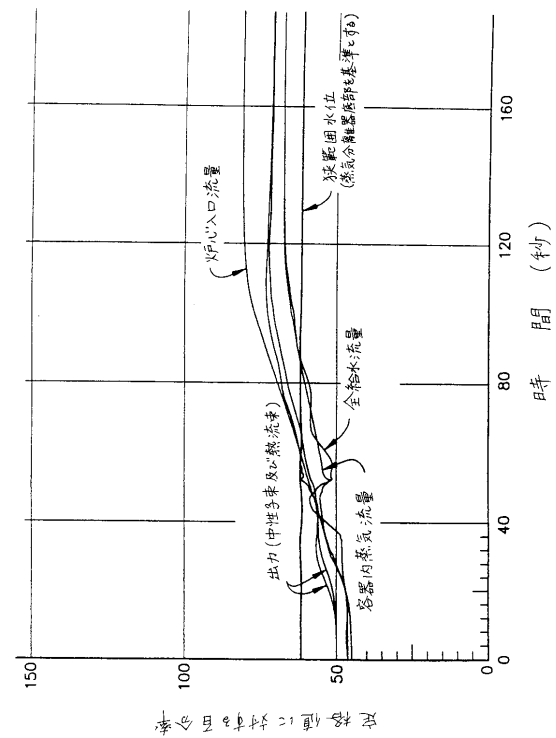
【図 8】



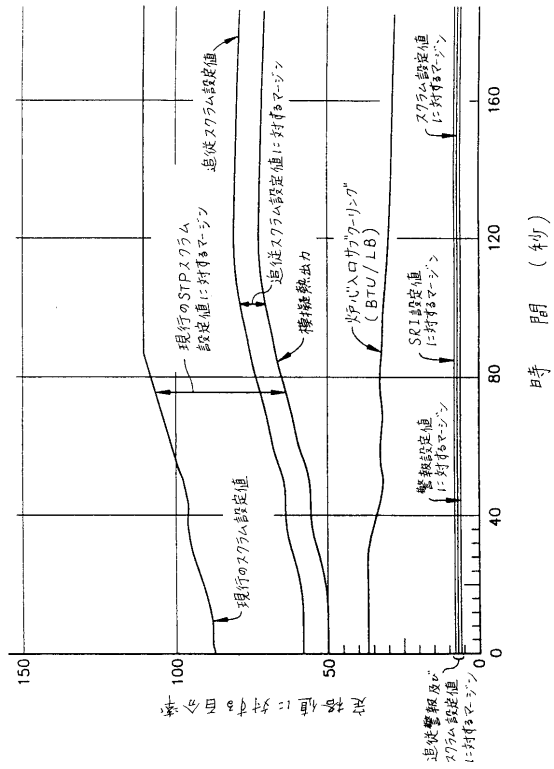
【図 9】



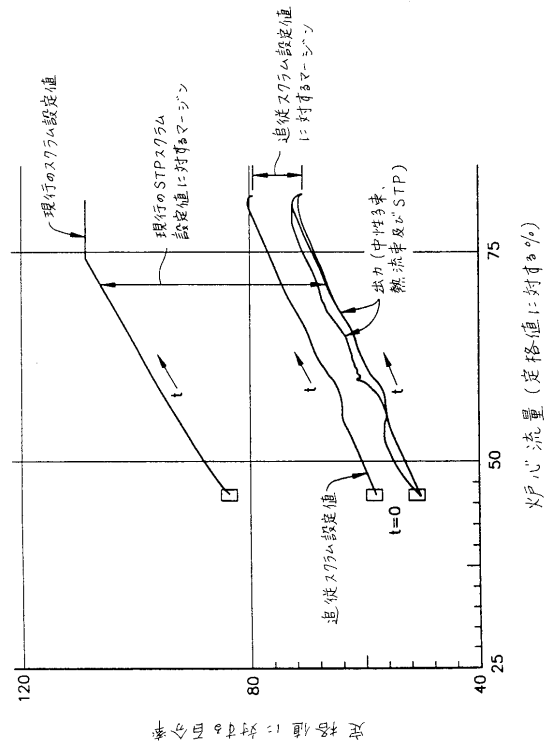
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 ジェフリー・ウォーラン・シモンズ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、サンホゼ、ナンバー２４２２、ザ・ウッズ・ドライブ、４３
００番

審査官 今浦 陽恵

(56)参考文献 特開平０２－００２９８２（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－１９６８９７（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－１９０４９７（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３４１０８３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

G21D 3/04
G21C 7/26
G21D 3/08
G21C 17/00