

静止形無効電力補償装置(SVC)の発電端設置例

—東北電力株式会社能代火力発電所—

Static Var Compensator for Power System Stability

坂野 鋺一*	Kōichi Sakano	広瀬 俊一****	Shun'ichi Hirose
佐藤 佳彦*	Yoshihiko Satō	後藤 益雄*****	Masuo Gotō
斎藤 義孝**	Yoshitaka Saitō	中村 知治*****	Tomoharu Nakamura
高橋 三幸**	Mitsuyuki Takahashi	佐藤 勝男*****	Katsuo Satō
千田 卓二***	Takuji Chida		



(a) 東北電力株式会社能代火力発電所SVCシステム全景



(b) サイリスタバルブ室内外観

平成6年7月に東北電力株式会社能代火力発電所で運開したSVC（静止形無効電力補償装置）

能代火力発電所につながる大湯幹線の電力動揺を検出し、系統じょう乱時の電力動揺抑制を図っている。

最近の電力需要は、産業用需要が低迷しているものの、生活水準の向上やアメニティ指向の高まりなどから民生需要は堅調に伸びており、長期的にも電力需要は着実に増加していくものと予想されている。その一方で、電源立地難のため電源は遠隔地に設置する傾向が顕著になってきている。

このような動向に対し、遠隔地の電源から需要地にいかに安定して電力を送電するかが、大きな課題となってきている。

東北電力系統は東京電力系統とともに50 Hz系統の重要な部分を構成しており、系統の拡大に伴って、東北電力系統から東京電力系統向けに潮流が増加する傾向にあり、今回、安定度向上を目的に、電力動揺抑制機能を付加したSVC(Static Var Compensator：静止形無効電力補償装置)を、東北電力株式会社能代火力発電所(以下、能代火力発電所と言う。)に設置した。このSVCは、電力動揺抑制機能を適用して実運転した初のシステムである。

* 東北電力株式会社 技術部 ** 東北電力株式会社 火力部 *** 東北電力株式会社 電力技術研究所 **** 日立製作所 電力事業部
***** 日立製作所 電力事業部 工学博士 ***** 日立製作所 国分工場 ***** 日立製作所 日立工場

1 はじめに

電源地点から需要地へ電力を安定して送電するには、何らかのじょう乱によって発生する電力動揺を速やかに抑制し、電力送電に影響を及ぼさないようにすることが重要である。

近年のパワーエレクトロニクス技術は目覚ましい進歩を遂げてきている。SVCはパワーエレクトロニクス技術の応用製品であり、高速かつ連続に無効電力を制御でき、保守も容易であることから、近年電力系統に適用されてきている。

東北電力系統では北部の電源開発に伴い、系統動揺が大きくなるため、電力動揺を迅速に減衰させる目的でSVCの設置を検討した。検討にあたっては、北部系統内の複数の地点についてSVC設置による電力動揺の減衰の効果を解析し、能代火力発電所がSVC設置点として選定された。

ここでは、この電力動揺抑制用SVCの概要、および系統試験による効果の確認、結果について述べる。

2 SVCの系統安定化効果

2.1 系統の安定化制御

SVCによる系統安定化制御の原理を図1に示す。SVCは同図に示すように、系統の電圧信号と電力信号を取り込み、この信号によってSVCの無効電力を系統に供給することで系統の安定化を図るものである。

2.2 東北電力北部系統の安定化に適した地点

今回の能代火力発電所へのSVC設置に対する安定度向上効果を中心とした検討を行った。東北電力系統の概略図を図2に示す。検討は固有値法による電力動揺のダンピングの検討、および時間軸シミュレーションによって行った。設置地点をパラメータとした電力動揺ダンピ

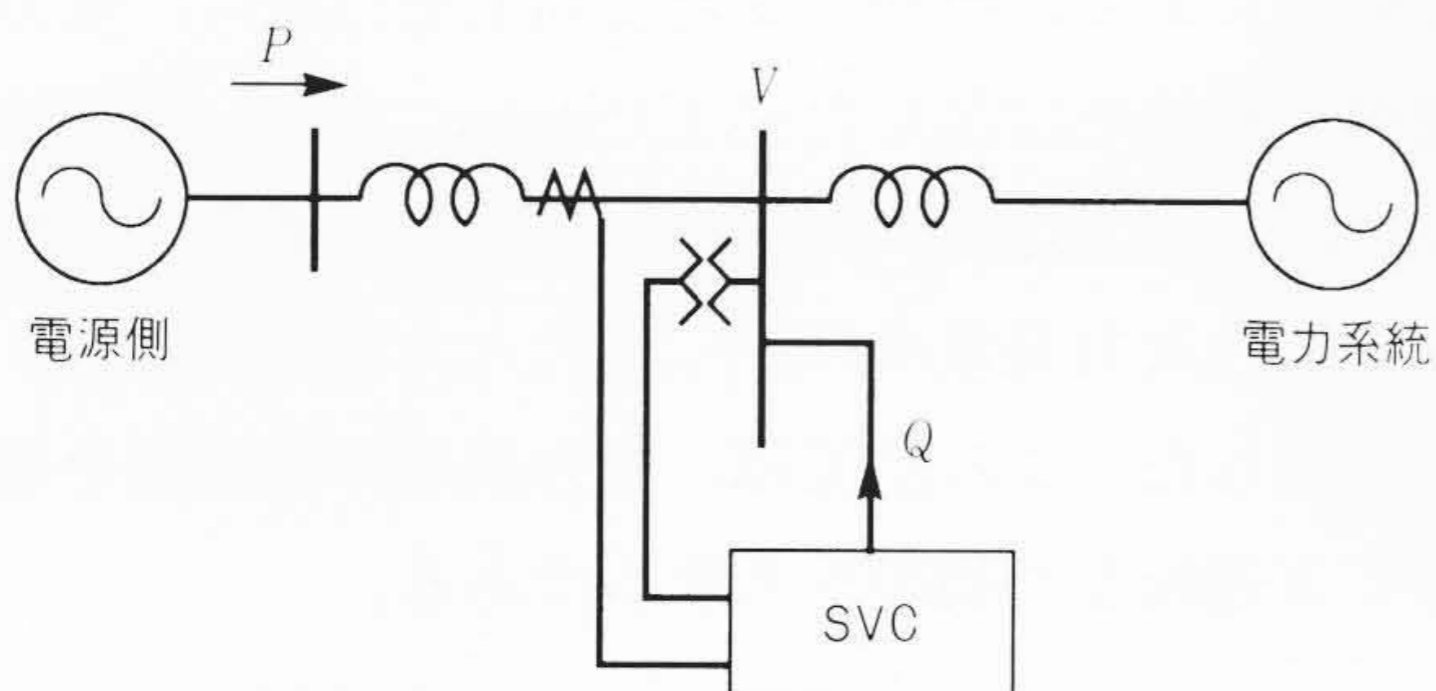


図1 SVCの電力動揺抑制原理
電源側送電線の電圧、電流信号を取り込み、電力動揺を検出してSVCを動作させる。

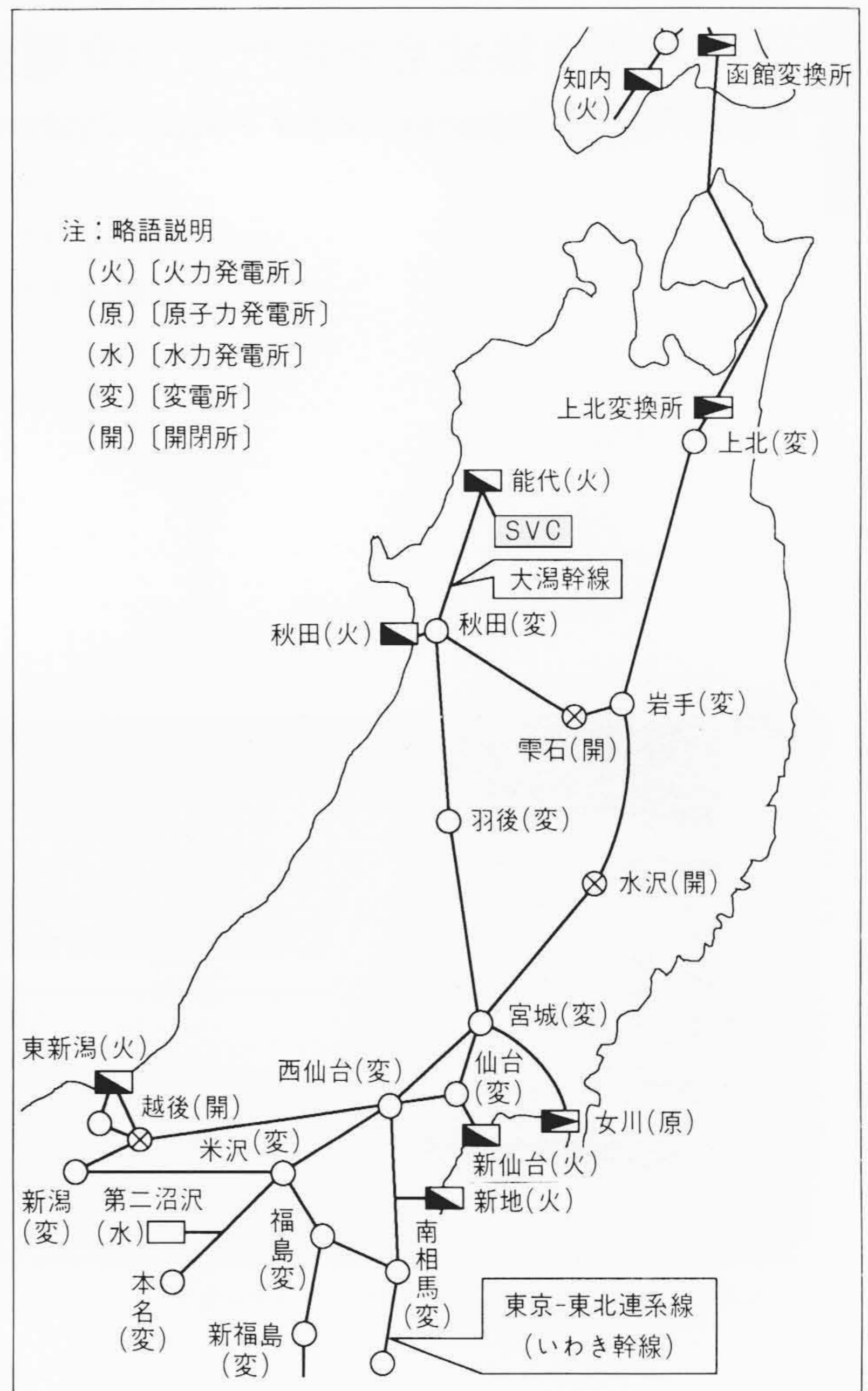


図2 東北電力系統概略図
東北電力系統は、東京電力系統とともに50 Hz系の主要部分を構成している。

ング解析の結果、能代火力発電所へのSVC設置効果が大きく、能代火力発電所から離れるに従って効果が小さくなることがわかった。これは、電力動揺減衰には連系点より系統安定度上厳しい遠隔の北部方面にSVCを設置することが、より効果を大きくすることを表すものである。

3 能代火力発電所におけるSVCシステム

3.1 システムの概要

能代火力発電所に設置したSVCシステムの単線結線図を図3に示す。主要機器の仕様は次のとおりである。

(1) サイリスタバルブ

サイリスタバルブは、4 kV-1.5 kA光直接点弧方式サイリスタ素子を用いている。サイリスタバルブは、各相逆並列接続して構成している。

(2) 変圧器, リアクトル

変圧器, リアクトルはサイリスタバルブから発生する高調波に耐えられる構造をとっている。リアクトルは各相の巻線を中間で分離して端子を引き出し, この端子間に各相のサイリスタバルブを直列に接続している。

(3) 制御・保護

制御・保護はデジタル方式とし, 32ビットマイクロプロセッサを採用している。制御の主な特徴として, 次のものがあげられる。

- (a) 制御は二重系のため, 1系列異常時でも残り1系運転による信頼性の向上
 - (b) ゲート制御への光ケーブル使用による耐ノイズ性の向上
 - (c) 点弧パルス異常検出など, チェック機能の具備による保守省力化
 - (d) SVC故障時の各部波形記録による保守性の向上
- 主要機器の仕様を表1に示す。

3.2 制御系の特徴

従来SVCは電圧変動を抑制する目的で導入されてき

た。今回設置したSVCは, 通常の電圧制御機能のほかに系統動揺抑制制御の機能を持っている。すなわち, (a) 系統の電圧(能代火力発電所275 kV母線電圧)を主フィードバック制御とした電圧制御(ΔV 制御)機能と, (b) 上記(a)の電圧制御の補助機能として, 有効電力成分を用いた電力動揺ダンピング制御(ΔP 制御)機能の2種類の機能を持っている。この制御概念図を図4に示す。このSVCは定常時では, サイクルバルブから一定の遅れ無効電力を供給し, SCからの進み無効電力を補償している。このため, 定常時にSVC用変圧器から系統には無効電力はほとんど流出しない。いったん系統内で電力動揺, または電圧変動が発生した場合, SVC出力を増減し, それらを抑制するように制御される。このSVCは能代火力発電所端に設置されるため, 発電機界磁制御系自動電圧調整器, PSS(系統安定化装置)との協調, AVQC(自動電圧無効電力制御装置)による主変圧器のタップ制御系との相互干渉がないかどうかの検討を行った。その検討結果について次に述べる。

(1) 発電機の界磁制御とSVCの ΔV 制御との相互干渉

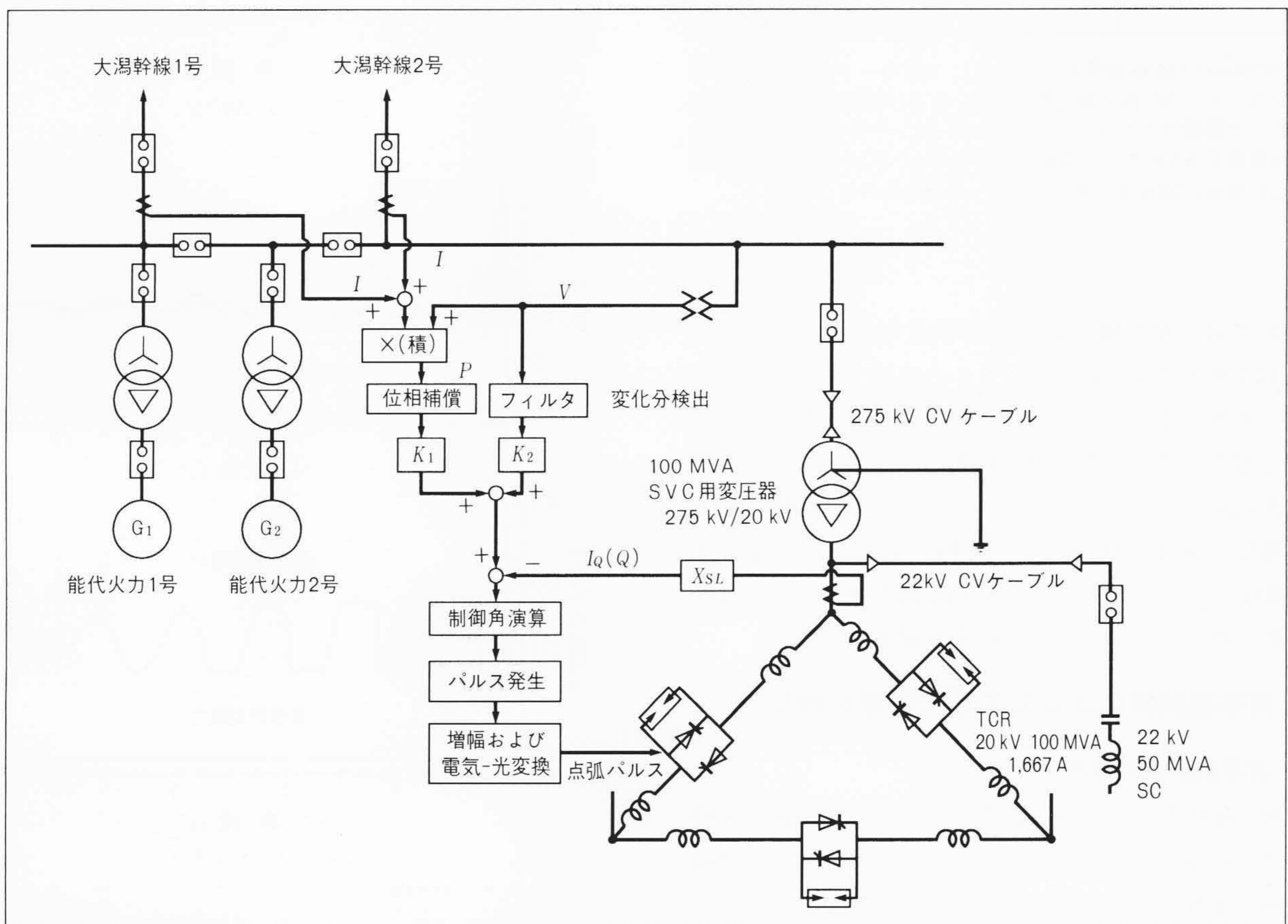


図3 能代火力発電所SVCの単線結線図

能代火力発電所SVCは, 大湯幹線の電圧, 電流信号を取り込み, 電力動揺抑制を図っている。

表1 主要機器の仕様

サイリスタバルブは光点弧、水冷方式とし、小型・軽量化している。変圧器、リアクトルは高調波に耐えられる構造としている。

機器名称	仕様
光サイリスタバルブ	容量：100 MVA
	電圧・電流：20 kV-1,667A
	絶縁：空気絶縁
	冷却方式：純水循環冷却方式
	サイリスタ：光直接点弧式サイリスタ
変圧器	容量：100 MVA
	電圧：275/20 kV
	結線：Y/Δ
	冷却方式：送油風冷方式
リアクトル	容量：100 MVA
	電圧：20 kV
	結線：Δ
	冷却方式：送油風冷方式
コンデンサ	容量：50 MVA
	電圧：22 kV
	冷却方式：油入自冷方式
制御・保護	制御：二重系、系列間補正方式
	運転モード：SVC, TCRモード
	運転：起動・停止は自動 (遮断器開閉を含む。)
	動揺抑制：電圧変動、電力動揺フィードバック方式
	保護：サイリスタ素子保護、リアクトル、変圧器保護

注：SVCモード(SCを使用するモード)、TCRモード(SCを使用しないモード)、SC(進み無効電力補償、および高調波の吸収を目的として設置されたスタティックコンデンサを示す。通常はSCを使用するSVCモード運転が行われるが、SCの故障などが発生した場合、SCを切り離しTCRモード運転を行う。)

については、発電機の応答が秒単位であるのに対し、SVCは $\frac{1}{2}$ サイクルから1サイクルの応動であり、時定数が大きく異なる。このことから、発電機への相互作用は問題とはならない。その解析結果を図5に示す。

(2) AVQCによるタップ制御で、タップが移動したとき、電圧の変化を検出して一時的にSVC出力が変化する。電圧が一定になった時点でSVC出力はなくなることを解析で確認した。その解析結果を図6に示す。

4 実系統試験によるSVC導入効果の検証

4.1 実系統試験の方法

今回、能代火力発電所に設置したSVCは、系統故障時に発生する電力動揺抑制の効果確認に加え、発電機界磁制御系・主変圧器タップ制御系との協調などを検討するため、次の実系統試験を実施した。それらは、

(1) 電力動揺発生時のSVCの動作、電力動揺抑制検証

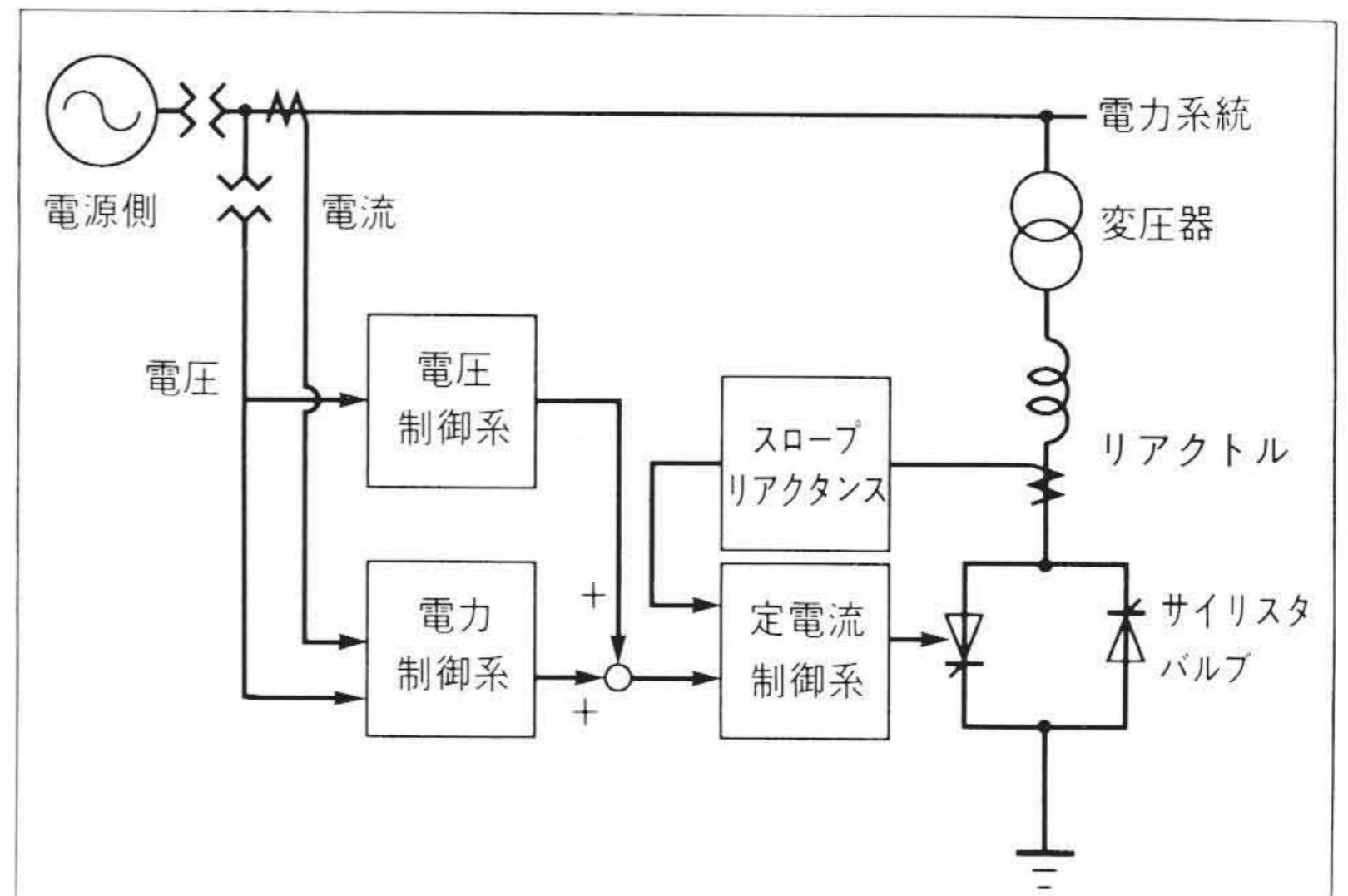
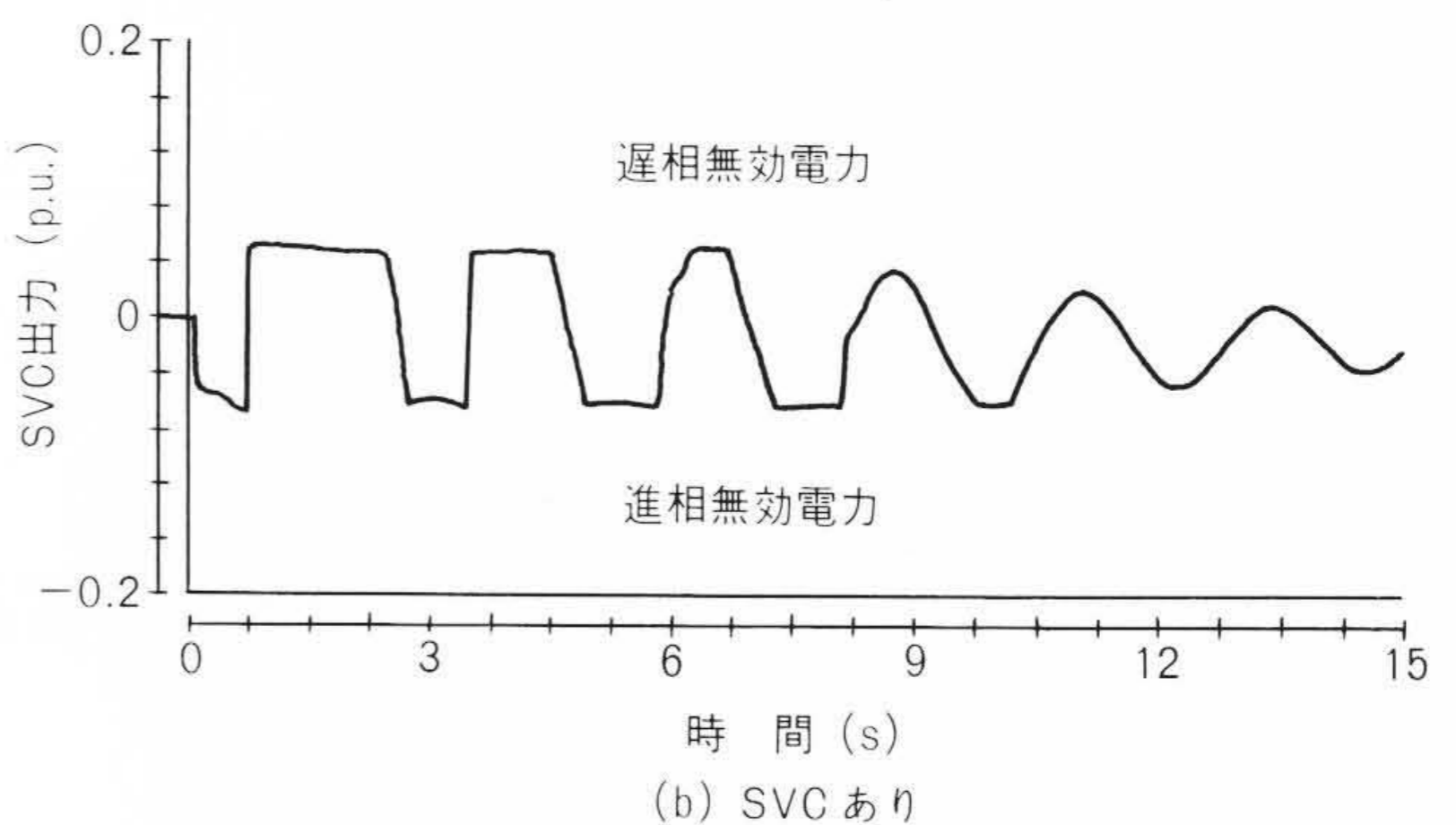
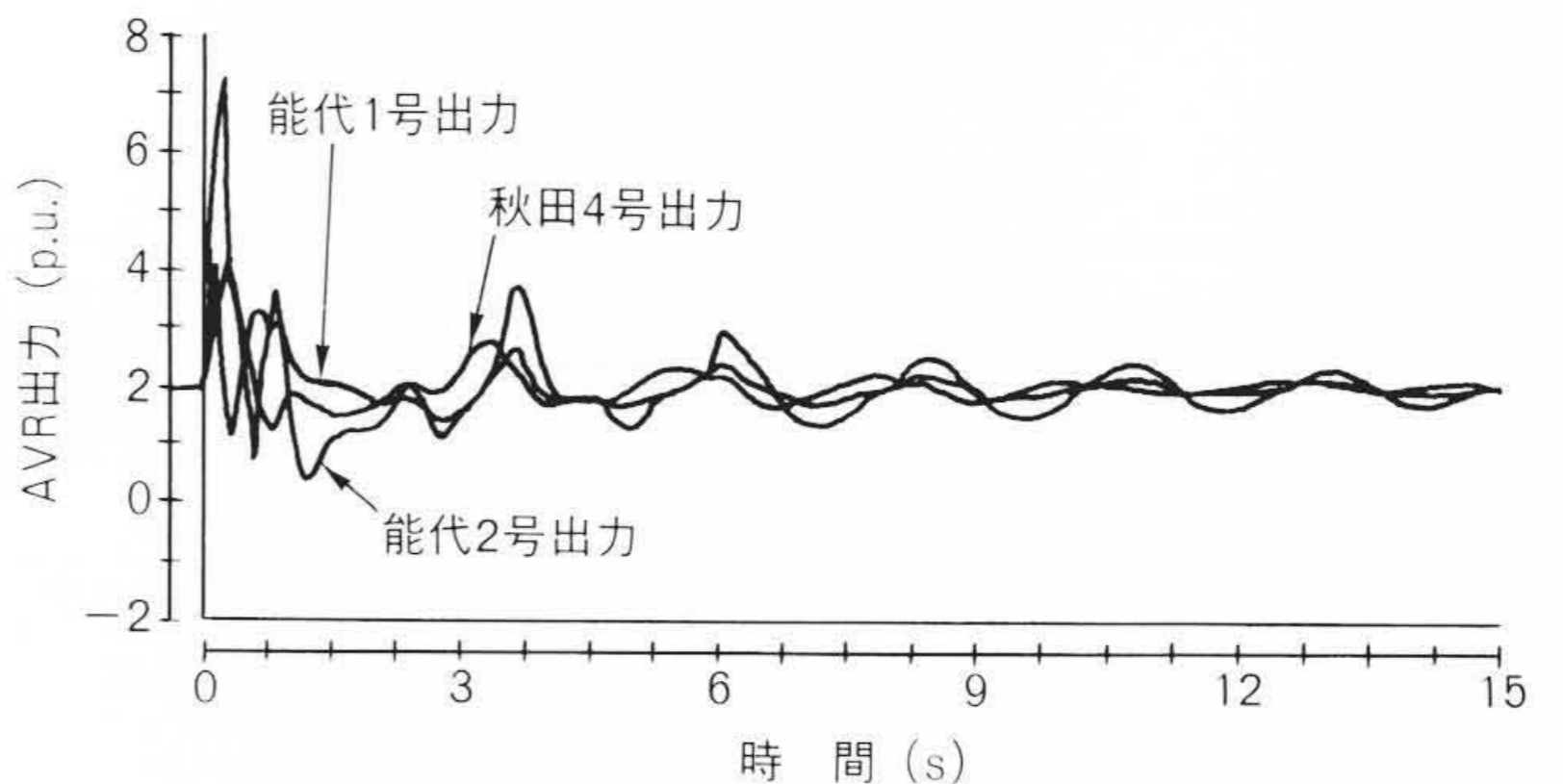
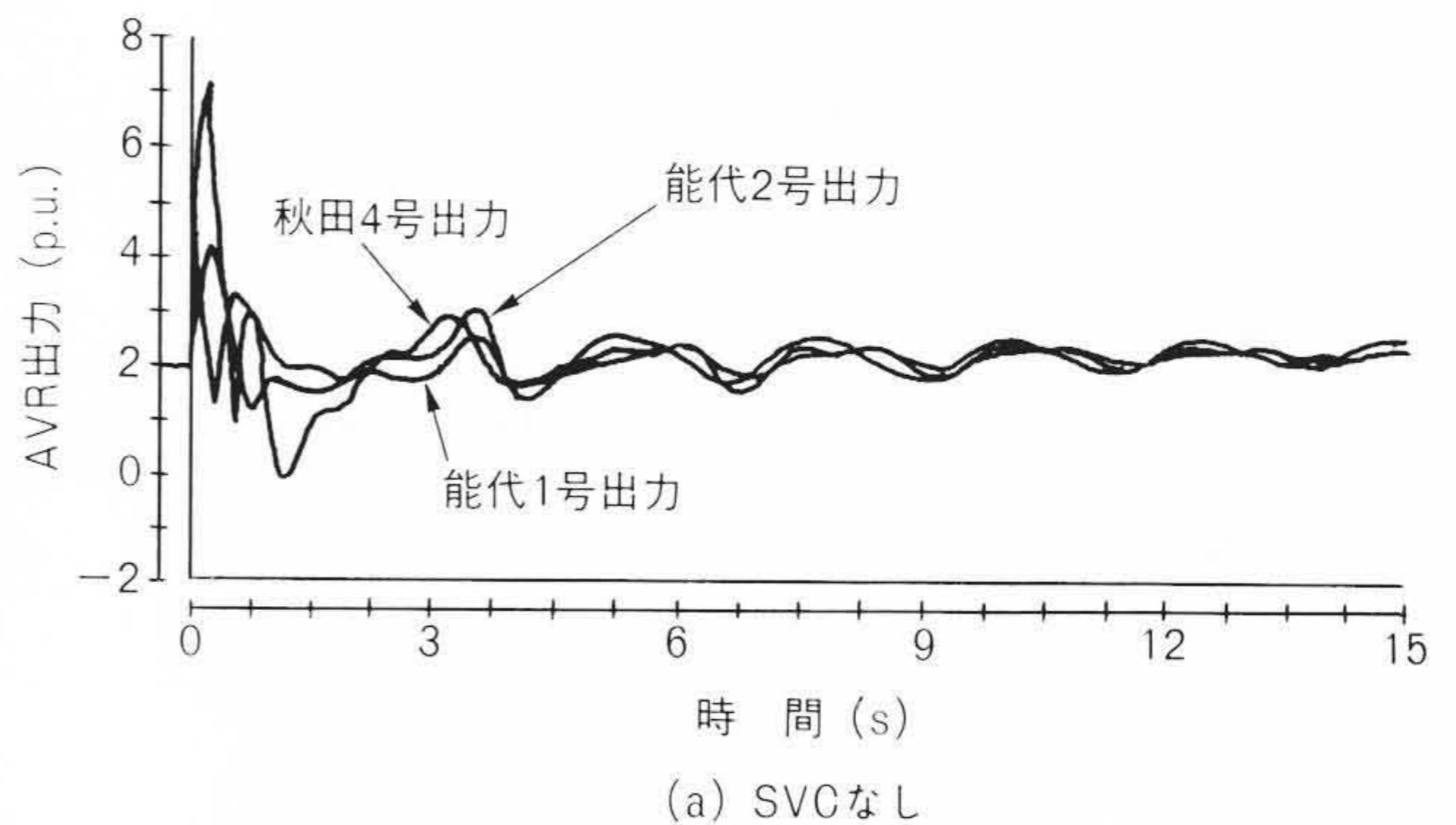


図4 SVC制御概念図

系統の電圧、電流信号を取り込み、この信号からサイリスタバルブの点弧角制御を行っている。



注：1 p.u. = 1,000MW

図5 SVCの発電機への影響解析結果

SVCの制御と発電機のAVR(自動電圧調整器)の制御時定数が異なるため、相互の影響はない。

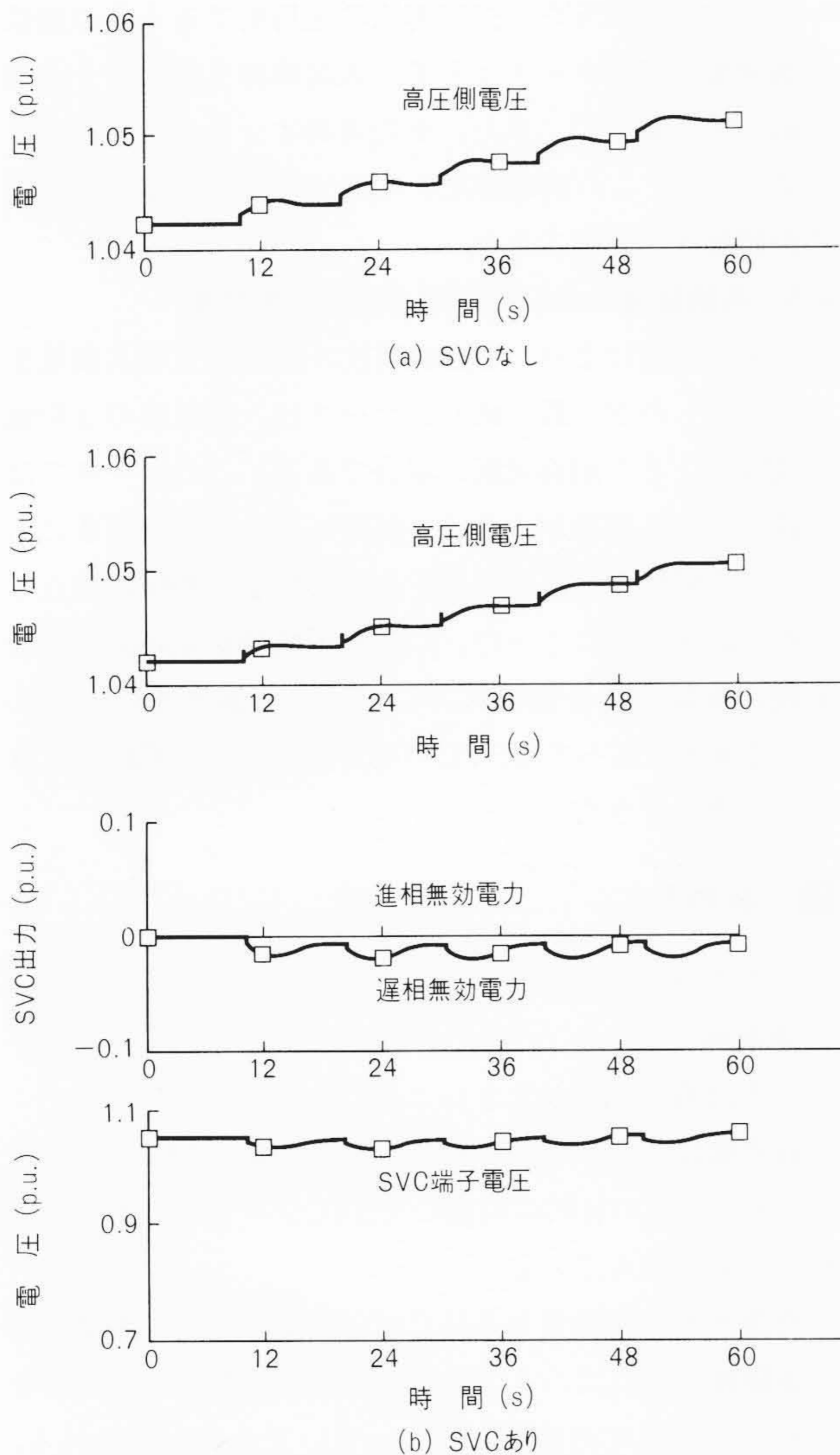


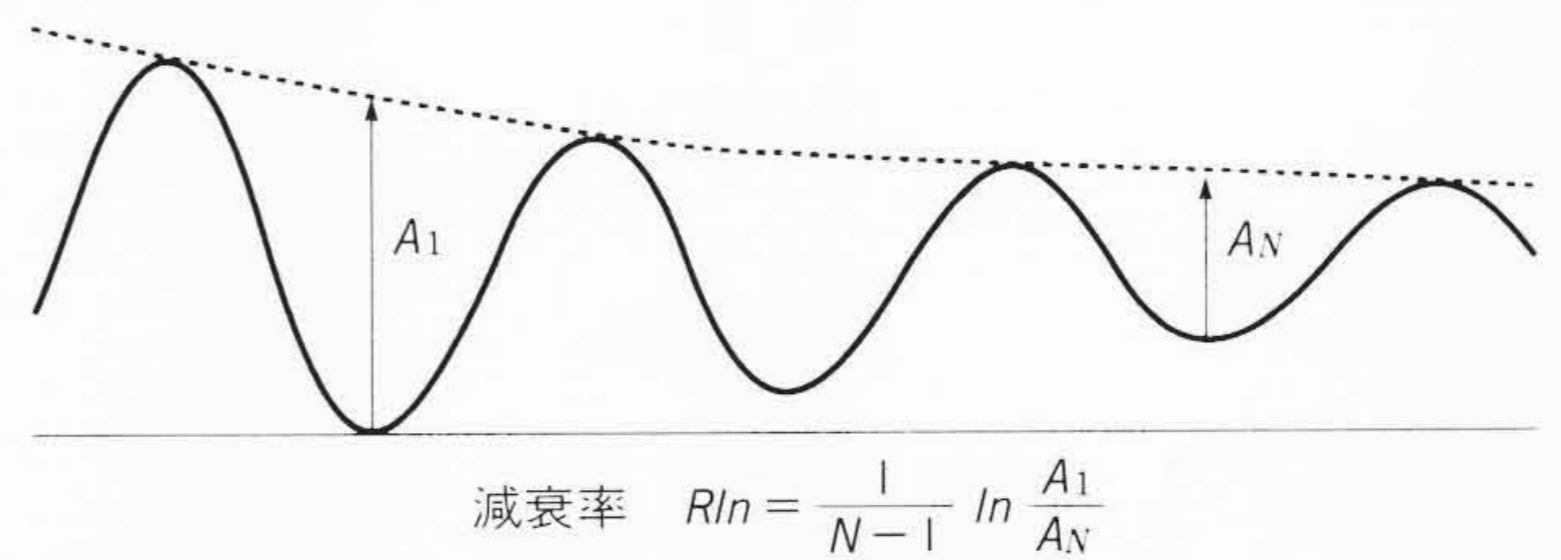
図6 変圧器タップ制御とSVCの影響解析結果
変圧器タップ動作が数秒のオーダの現象であり、互いの影響はない。

表2 SVCによる電力動揺抑制効果

SVCロック状態に比較し ΔV 制御、および $(\Delta V + \Delta P)$ 制御のほうが電力動揺抑制効果があることを示す。

ケース No.	発電機有効電力出力		減衰率	試験条件 (SVC条件)
	第1波	第4波		
1	64.9 MW	24.6 MW	0.32	SVCロック
2	52.6 MW	14.7 MW	0.42	ΔV 制御
3	62.1 MW	16.2 MW	0.45	$\Delta V + \Delta P$ 制御

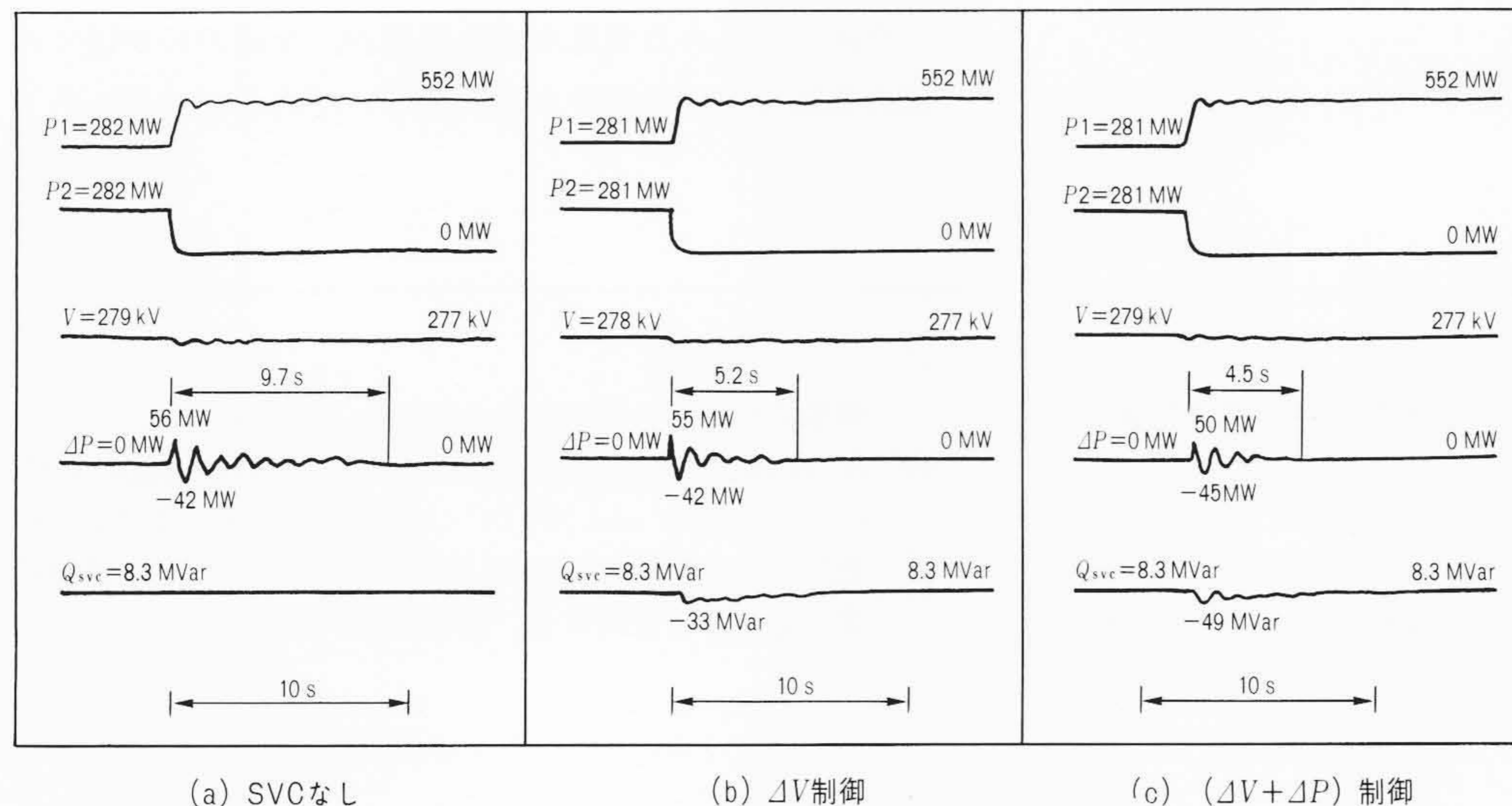
注：試験条件〔能代火力発電機1号停止，2号運転(ただし，PSS除外)〕



(大瀧幹線2回線中1回線の投入・開放)

- (2) 能代火力発電所1，2号発電機との相互干渉が存在しないことの検証
 - (3) AVQC制御との協調検証(能代火力発電所主変圧器タップ上昇・下降)
 - (4) 秋田変電所分路リアクトル投入・開放による電圧変動抑制検証
- である。

また，SVCの系統への効果を検証するため，系統試験では，SVCの運転パターンとして，(1)SVCロックパターン：SVC不動作，(2) ΔV 制御：能代火力発電所母線電圧変動に対し応動，(3) $(\Delta V + \Delta P)$ 制御：母線電圧変動応動に加え，大瀧幹線電力動揺に応動の三つの制御パターンについて試験を実施した。



注：
P1, P2 (大瀧幹線第1,2回線潮流)
V (能代火力高圧側母線電圧)
 ΔP (大瀧幹線潮流変動)
 Q_{svc} (SVC出力)

図7 大瀧幹線投入時試験結果
SVCの有無で電力動揺抑制に大きな差が出る。また， ΔV 制御より $(\Delta V + \Delta P)$ 制御の効果が大きい。

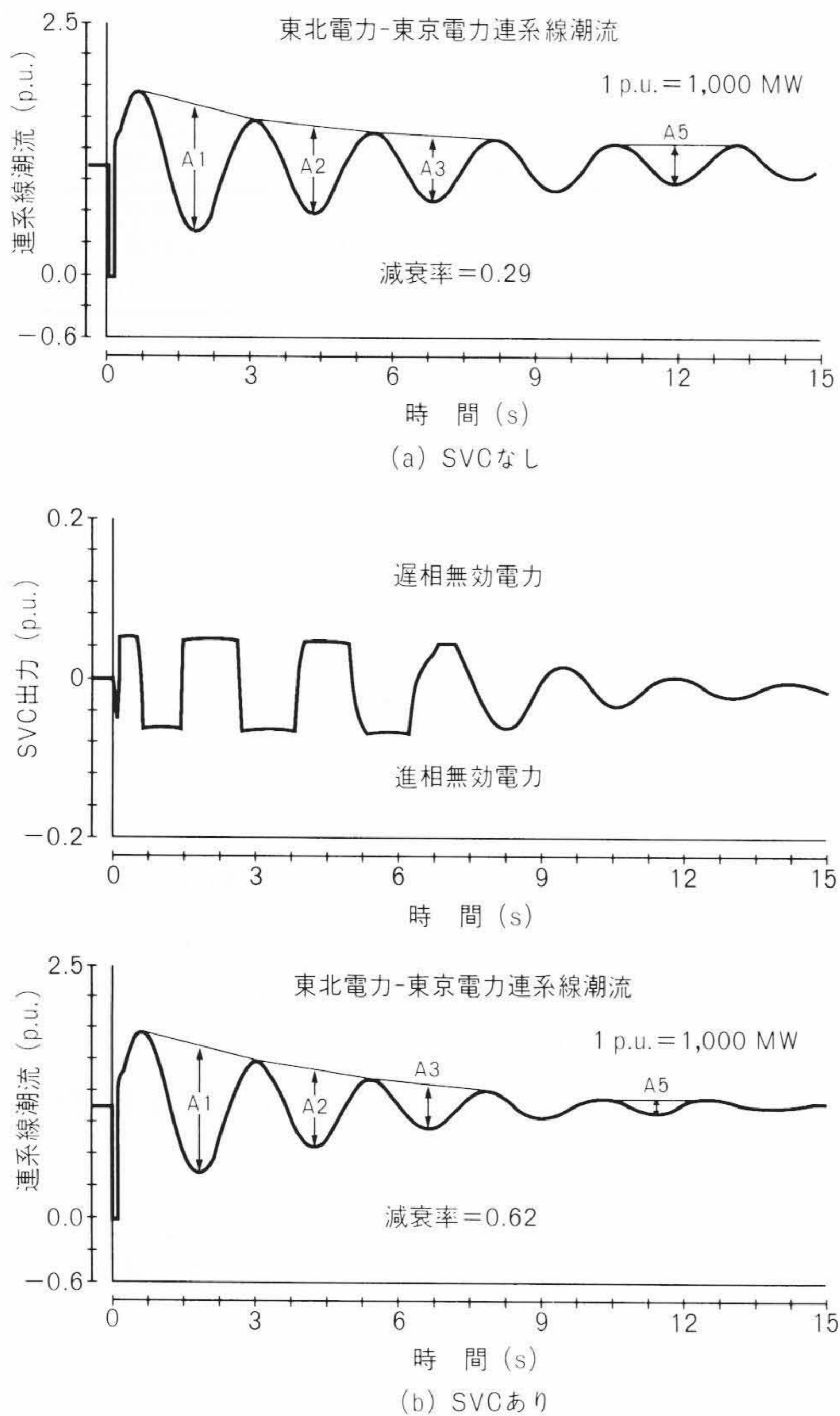


図8 SVCの有無による連系線電力動揺解析結果比較
SVCの導入により、電力動揺の減衰を大幅に改善できる(故障発生点、潮流観測点：両電力系統間連系線の東北電力側)。

4.2 SVCの導入効果

実系統試験のうち、SVC導入の主目的である電力動揺抑制効果を示すケースとして、大湊幹線2回線中1回線開放の例を表2に、また、その実測オシログラフ波形を図7に示す。この試験結果からSVCの導入による電力動揺抑制効果が確認できた。

4.3 系統故障時のSVCの電力動揺抑制効果

実系統試験により、1回線開放の例でSVC導入効果を明らかにしたが、最も厳しいケースは、送電線の3相地絡故障による1回線遮断の場合である。このケースでは系統に与える影響が大きい。解析による結果を図8に示す。この解析では、故障発生点および電力動揺観測点を両電力間連系線にとった。この解析結果から、東北電力系統の末端にある能代火力にSVCを設置することにより、遠隔地であってもSVCの電力動揺抑制効果が現れることが確認できた。

5 おわりに

ここでは、電力動揺制御機能を持つSVC、特に能代火力発電所に導入したSVCによる実系統試験結果を紹介し、その導入効果が大きいことについて述べた。

日立製作所は、今回の電力動揺抑制機能を持つSVCをはじめ、種々の目的に対応したSVCシステムの開発に積極的に取り組んでいる。

今後とも、国内電力系統では、発電立地点が需要地から遠隔地化されていくことが考えられ、電力動揺抑制を目的としたSVCの需要が高まっていくものと思われる。このような状況にあっては、省スペース化を図った簡素で保守・メンテナンス性の高い製品の開発が必要と考える。

今回の能代火力発電所での実績が、今後のわが国での電力系統安定化の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 大井, 外: 直流送電における静止形無効電力補償装置の適用, 電気学会電力技術研究会, PE-86-7(昭61-3)
- 2) Y. Sunada, et al.: Application of Static Var Compensator for AC/DC Interconnected Power System, CIGRE SC14/32 International Symposium(1987-Oct.)
- 3) 小海, 外: 交直変換器交流母線にSVCを設置した場合の効果について, 電気学会全国大会, 997(昭和60)
- 4) A. Watanabe, et al.: Combind Control of Static VAR Compensator and HVDC Converter, IPEC-Tokyo '83
- 5) 色川, 外: 直流送電用32 MVA SVCフィールド試験結果, 電気学会全国大会, 943(昭62)