

超電導発電技術の適用による電力系統の 高性能化に関する基礎研究

東北学院大學工学部電気情報工学科
呉 国紅

研究背景

電気エネルギーの特長

IT産業が進んでいる社会の進歩発展からのニーズ

超電導技術の電力システムへの適用

地球環境に対する配慮

電力システム構成からの要請

超電導技術の進歩

主な超電導電力応用機器

1. 電力貯蔵機器SMES(Superconducting Magnetic Energy Storage):

高効率の電力貯蔵、高速度の電力制御が可能。

超電導コイルの低コスト化、磁気シールドとクエンチ時のエネルギー処理が課題。

2. 電力ケーブル:

大容量送電、小型化が可能;高温超電導ケーブルの開発に低コスト化を期待。

冷却システムの保守、信頼性が課題。

3. 限流器:

事故などによる大電流を抑制でき、尚且つ通常のロスが少ない。

事故電流による発熱の処理が課題。

4. 変圧器、電動機:

小型・軽量化ができ、ロスの低減が可能。

系統の事故電流によるクエンチ時の対応が課題。

5. その他:核融合装置(ITERなど)

6. 超電導発電機SCG(Superconducting Generator):

従来の発電機の界磁(回転子)を超電導化したものである。小型・軽量化、高効率、運転範囲の拡大又は電力系統の安定度向上が期待できる。

短絡電流が大きくなる。

超電導発電機(SCG)の開発の経緯

超電導発電機の設計

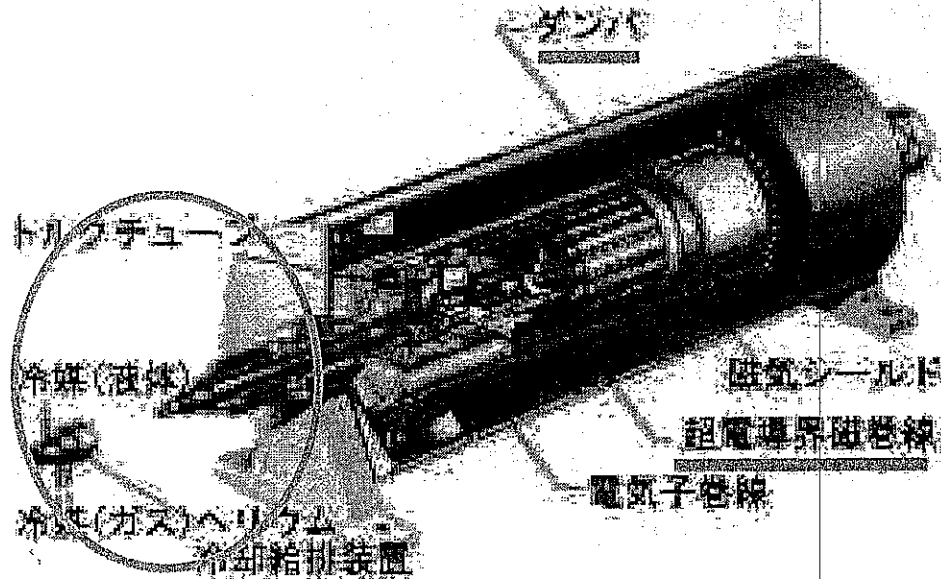
超電導発電機の現地試験

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から超電導発電関連機器・材料技術研究組合(Super-GM)が受託して、7万kW級のモデル機を完成し、現地実験を行った。

超電導発電機導入時の電力系統特性、導入効果

日本学術振興会(JSPS)において未来開拓学術研究(RFTF)推進事業JSPS-RFTF97P01004「超伝導技術の適用による電力系統の高性能化に関する基礎研究」プロジェクトにの一環として研究を行った。

超電導発電機(SCG)の構造とメリット



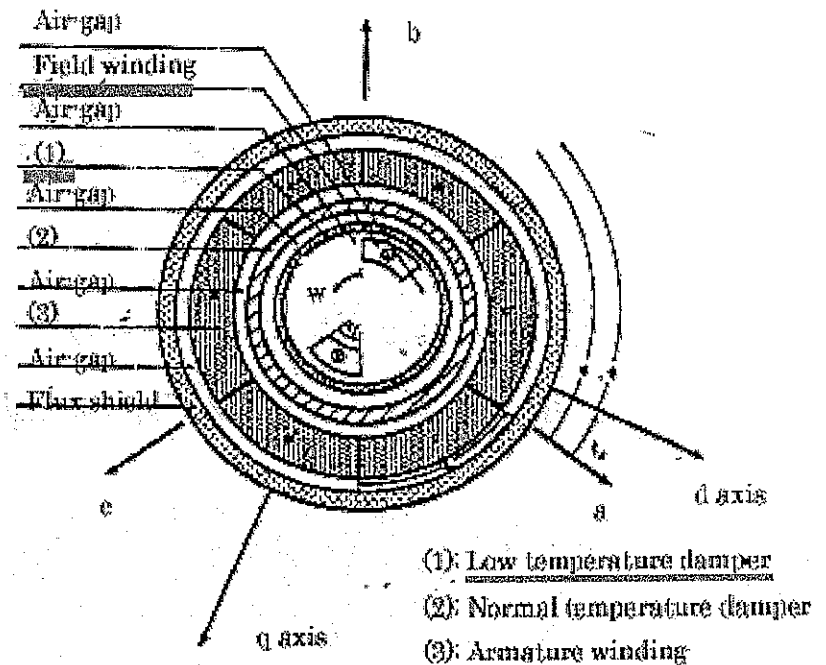
- ・ 小型・軽量化
(重量が半分、軸長が約6割)
- ・ 高効率
(約0.5~1%向上)
- ・ 進相運転領域の拡大

Super-GM 7万kW級モデル機
により確認された

- ・ 同期インピーダンスが小さい
(現用機の1/3程度)
- ・ 一つのダンパが増える
(低温ダンパを追加)
- ・ 時定数の長いタイプもある
(低速応型のもの: 現用機の20倍~)



電力システムの定態、過渡特性に影響があり、それを明らかにする必要がある



本研究の目的、検討方法と内容

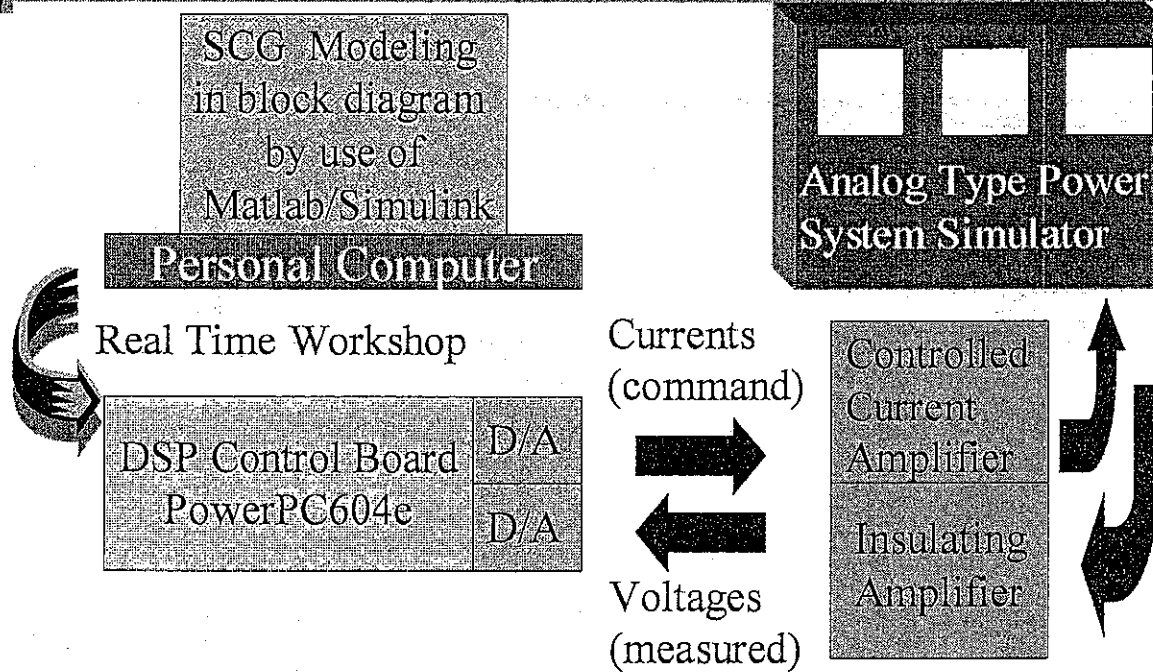
目的： 超電導発電機導入時の電力系統特性を考察、
系統全体の高性能化を図るための運用・制御

方法： アナログ型電力系統シミュレータ(TNS)を用い
てシミュレーションによる検討

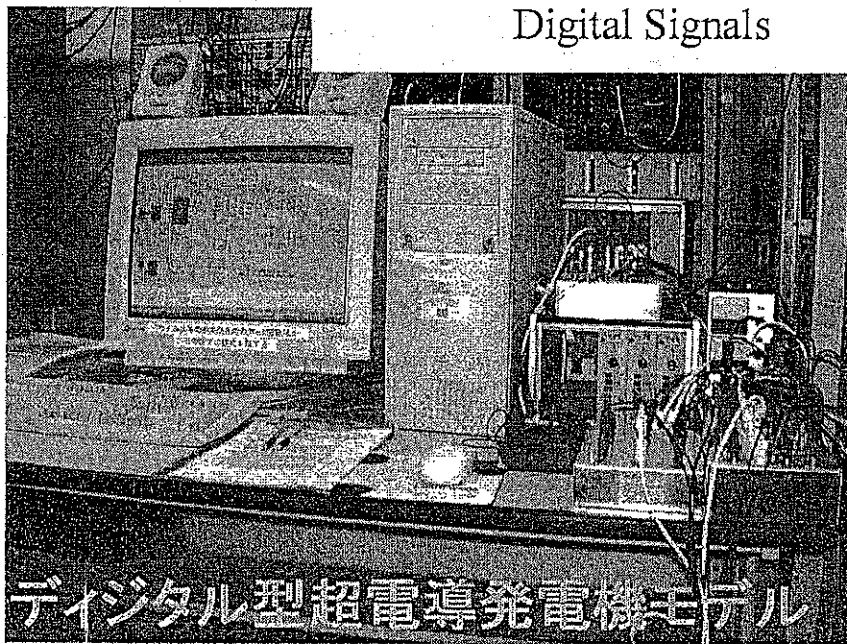


- SCGの解析モデルの確立
- TNS用SCGモデルの開発
- SCGの機器定数や構成などの導入効果への影響
- SCG導入による経済性効果(送電容量への影響)
- SCGの系統同期・電圧安定性への影響
- SCGの設置個所の導入効果への影響
- 分散電源の入った系統におけるSCGの導入効果

アナログ型電力システムシミュレータ用超電導発電機モデル

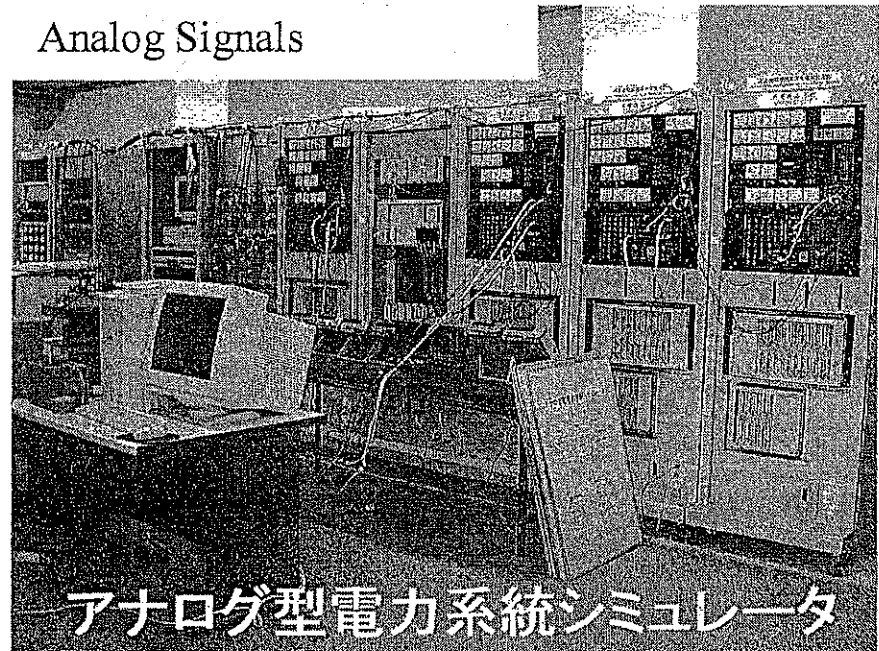


Digital Signals



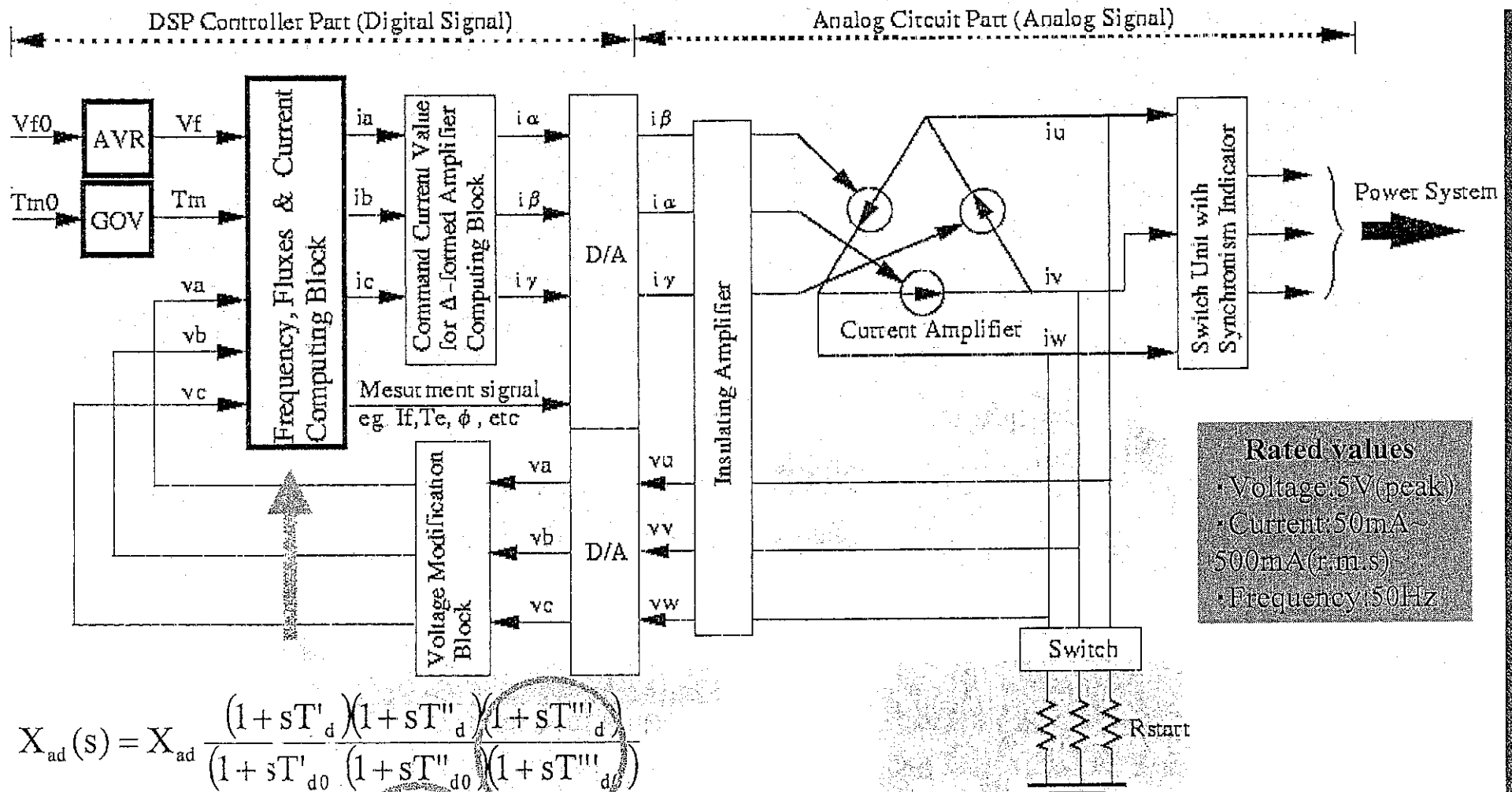
デジタル型超電導発電機モデル

Analog Signals



アナログ型電力システムシミュレータ

研究成果Iー開発したSCGモデルの原理と構成



$$X_{ad}(s) = X_{ad} \frac{(1+sT'_d)(1+sT''_d)(1+sT'''_d)}{(1+sT'_{d0})(1+sT''_{d0})(1+sT'''_{d0})}$$

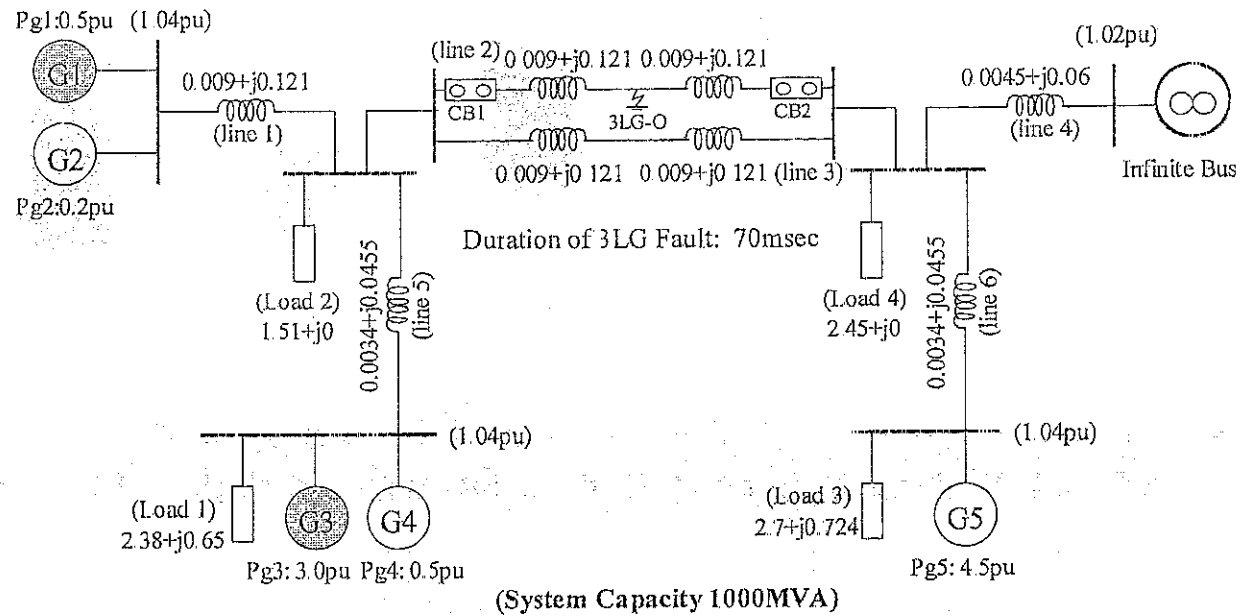
$$X_{aq}(s) = X_{aq} \frac{(1+sT'_q)(1+sT''_q)(1+sT'''_q)}{(1+sT'_{q0})(1+sT''_{q0})(1+sT'''_{q0})}$$

$$G(s) = \frac{M_{af0}}{r_f} \cdot \frac{1}{1+s(T'_{d0} + T''_{q0}) + s^2 T'_{d0} T''_f}$$

SCGの同期インピーダンス

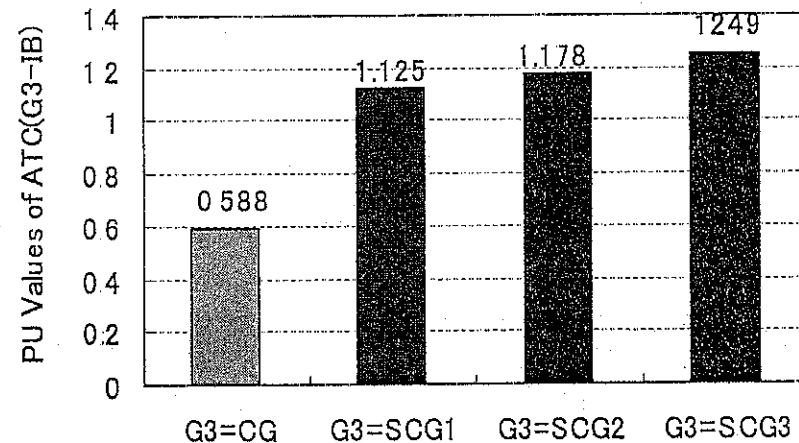
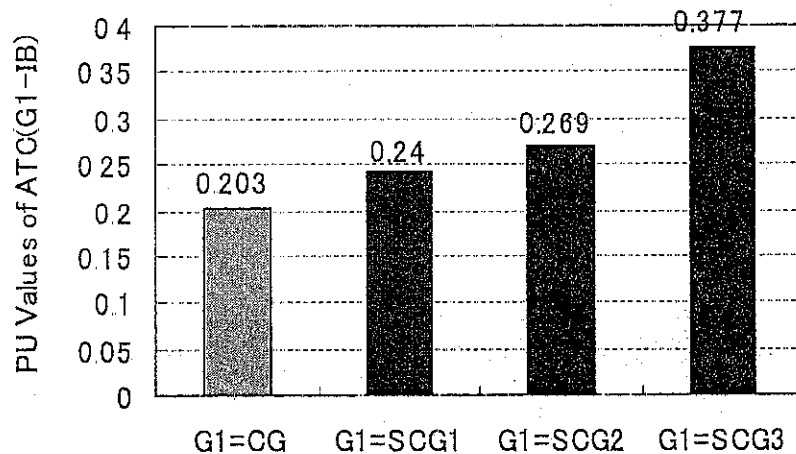
文献 (1)、(2)

研究成果II—SCGの送電容量への影響(機器定数の影響を含む)

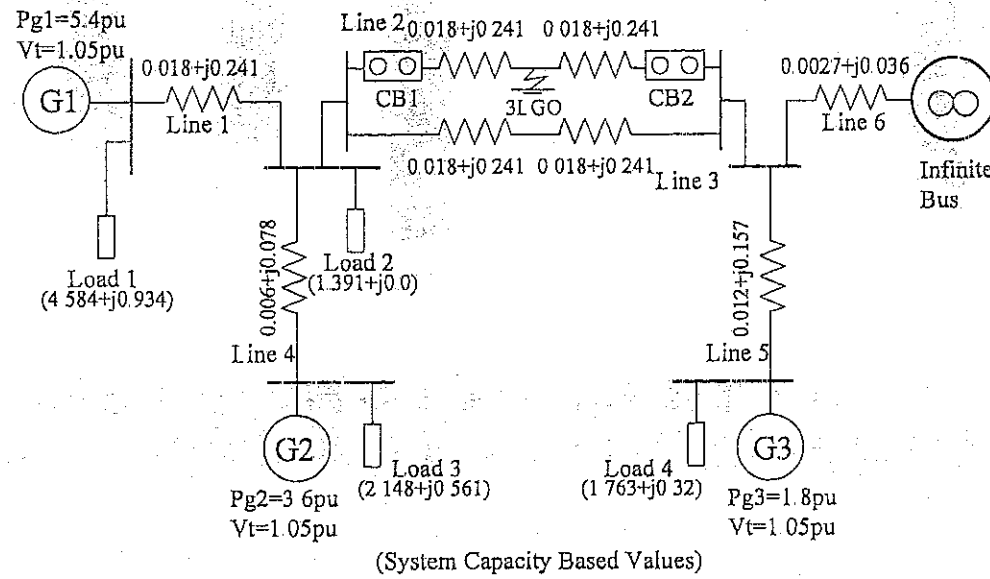


文献
(3)~(7)

- G1又はG3がSCG/現用機の場合における最大送電容量とATCを考察;
- 異なるSCG機器定数の場合の最大送電容量とATCを比較。

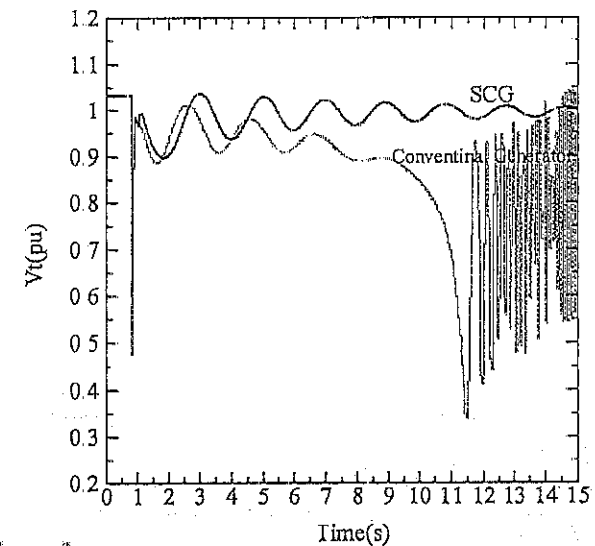
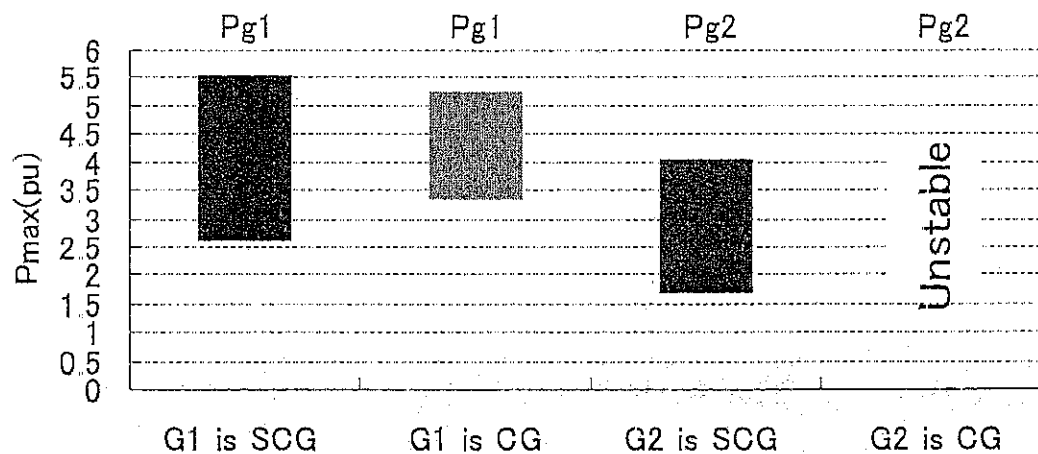


研究成果III—SCGの電力系統安定性への影響



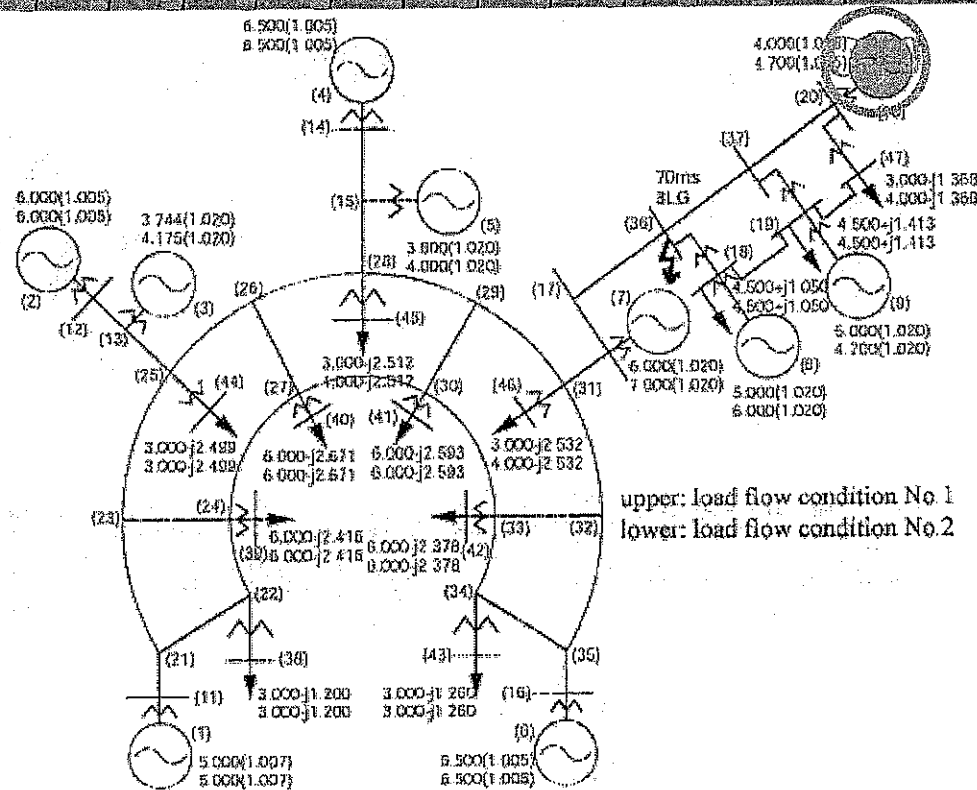
文献
(8)~(9)

- G1或いはG2がSCG/現用機の場合の安定運転領域を比較;
- SCG/現用機の場合に事故時の発電機電圧における動揺の様子を考察。



研究成果Ⅳ—SCGの設置個所と制御が導入効果への影響

異なる系統
運転断面に
おいて、系統
固有値を制
御しながら、
最適な設置
個所と制御
パラメータを
選定する

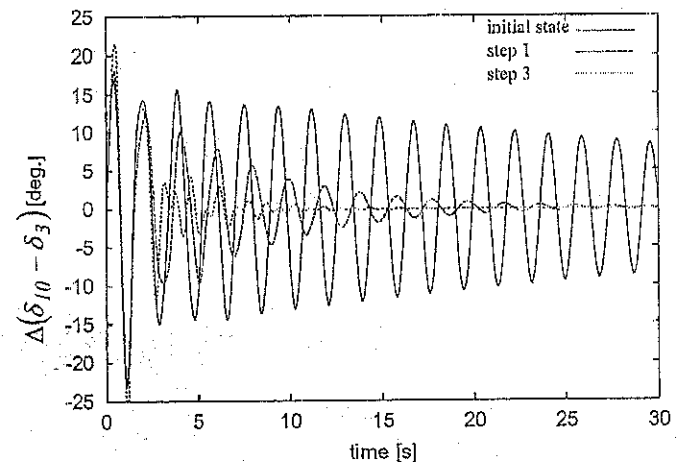


文献
(10)~(12)

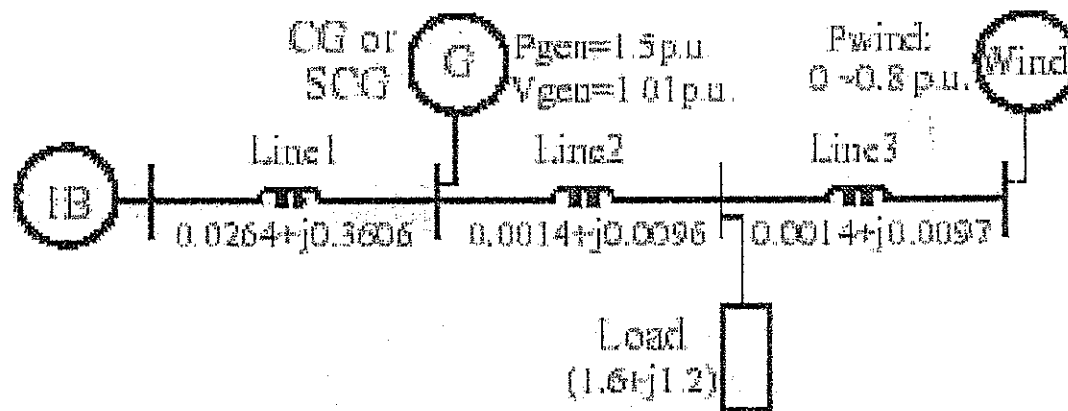
固有値制御の最小化問題

$$f = \sum_{k=1}^{N_F} \left[\sum_{i=1}^{N_G} \left\{ \sum_{j \in J_D(k)} \operatorname{Re} \left(\frac{d\lambda(k, j)}{dX_{d(i)}} \right) \right\} \Delta X_{d(i)} \right] \rightarrow \min$$

SCGをG10に設置した場合に位相角の
振動は最も良く抑制できる

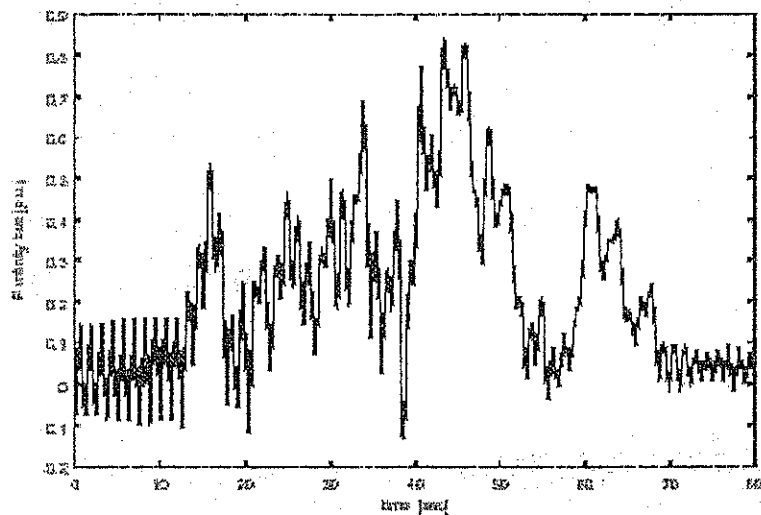


研究成果 V — 分散電源が導入された系統におけるSCGの導入効果

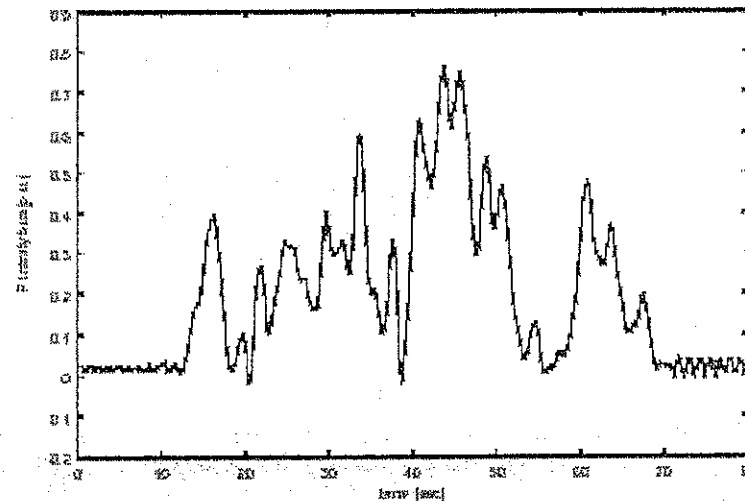


文献
(13)~(14)

遠隔地に風力発電(出力変動が大きい)が導入された系統において、SCGと現用機の場合に電力系統(IB)に流れ込む電力と系統電圧を考察し、比較



(a) CG



(b) SCG

まとめと今後の課題

➤ 超電導発電機(SCG)を実用化するための基盤技術として、システムの観点から超電導発電機の電力系統全体の高性能化に関して研究を行った。そのために、超電導発電機モデルの開発を含むアナログ型電力系統シミュレータの構築を行い、シミュレーションにより以下の項目について定量的に検討した。

- SCGの機器定数、設置個所の導入効果への影響
- SCG導入による電力系統の送電容量の変化
- SCGの電力系統安定性への影響
- 分散電源が導入された電力系統におけるSCGの安定化効果

➤ 今後の課題として、高密度化・大容量化SCGの経済性や配電系統用小型SCGの特性などが上げられる。

発表文献

- [1] "Experimental Study on Characteristics of Digital Type Superconducting Generator Model for Analog Type Power System Simulator". International Conference on Electrical Engineering (ICEE), No.274, pp210-214, July 2001
- [2] 「アナログ型電力システムシミュレータ用デジタル型超電導発電機モデルの開発」。電気学会超電導応用電力機器/回転機合同研究会, ASC-00-68/RM-00-64, pp63~66, 2000年
- [3] "Enhancement on Available Transfer Capability of Multi-machine Power System by Introduction of Superconducting Generator", 電気学会論文誌B, Vol. 125, No. 10, pp973~978, 2005年
- [5] "Increase of Power Transmission Capacity in Multi-machine Power Systems with Introduction of Superconducting Generator", Proc. of IEEE/PES 2002 Asia Pacific, Vol.1, No. 428, pp376-381, Oct. 2002
- [6] "Experiments on Improvement in Power System Ability of Superconducting Generator by use of Digital Type Generator Model and Analog Type Real-time Power System Simulator", 平成14年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.63, 2002年8月
- [7] 「低速応超電導発電機による電力システムの安定送電能力向上効果のアナログ型シミュレータ実験」。平成12年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.13, 2000年8月
- [8] "Real-time Simulation Study on Stability-improving Effects of Superconducting Generator in Power Systems by use of Digital Type Generator Model and Analog Type Power System Simulator", 電気学会論文誌B, Vol. 123, No. 3, pp368~373, 2003年
- [9] 「超電導発電機による電力システム過渡/定態安定度向上効果のアナログ型シミュレータ実験」。平成12年電気学会全国大会, No.6-199/198, 2000年3月
- [10] 「数潮流断面を考慮した低速応励磁型超電導発電機の最適導入地点及び最適機器パラメータの選定」。平成12年電気学会全国大会, No.6-197, 2000年3月
- [11] 「多機系統におけるSMES効果を考慮した超速応励磁型超電導発電機の励磁電圧制御系の設計」。平成12年電気学会全国大会, No.6-196, 2000年3月
- [12] "Selection of Optimal Location and Parameters of Superconducting Generators in Multi-machine Power System from a Stability Viewpoint" International Conference on Electrical Engineering (ICEE), No. B5-06, vol.1, pp463-466, Aug. 1999
- [13] "Technological Assessment for Developing New Wind Power Generating Systems," Proc. of 2005 IEEE St. Petersburg Power Tech, No. 252, June, 2005
- [14] "Effects on Stability Enhancement by SCG in Power System including onsite Fluctuating Power Plant" Proc. of 2002 International Conference on Electrical Engineering (ICEE), Vol.3, June, 2002