

北海道・本州間電力直流連系設備の増設(300 MWから600 MWへ)

Development of Equipment for Hokkaidô-Honshû HVDC Link

三瓶雅俊*

Masatoshi Sanpei

上田 純**

Jun Ueda

白川晋吾****

Shingo Shirakawa

畑野雅幸*

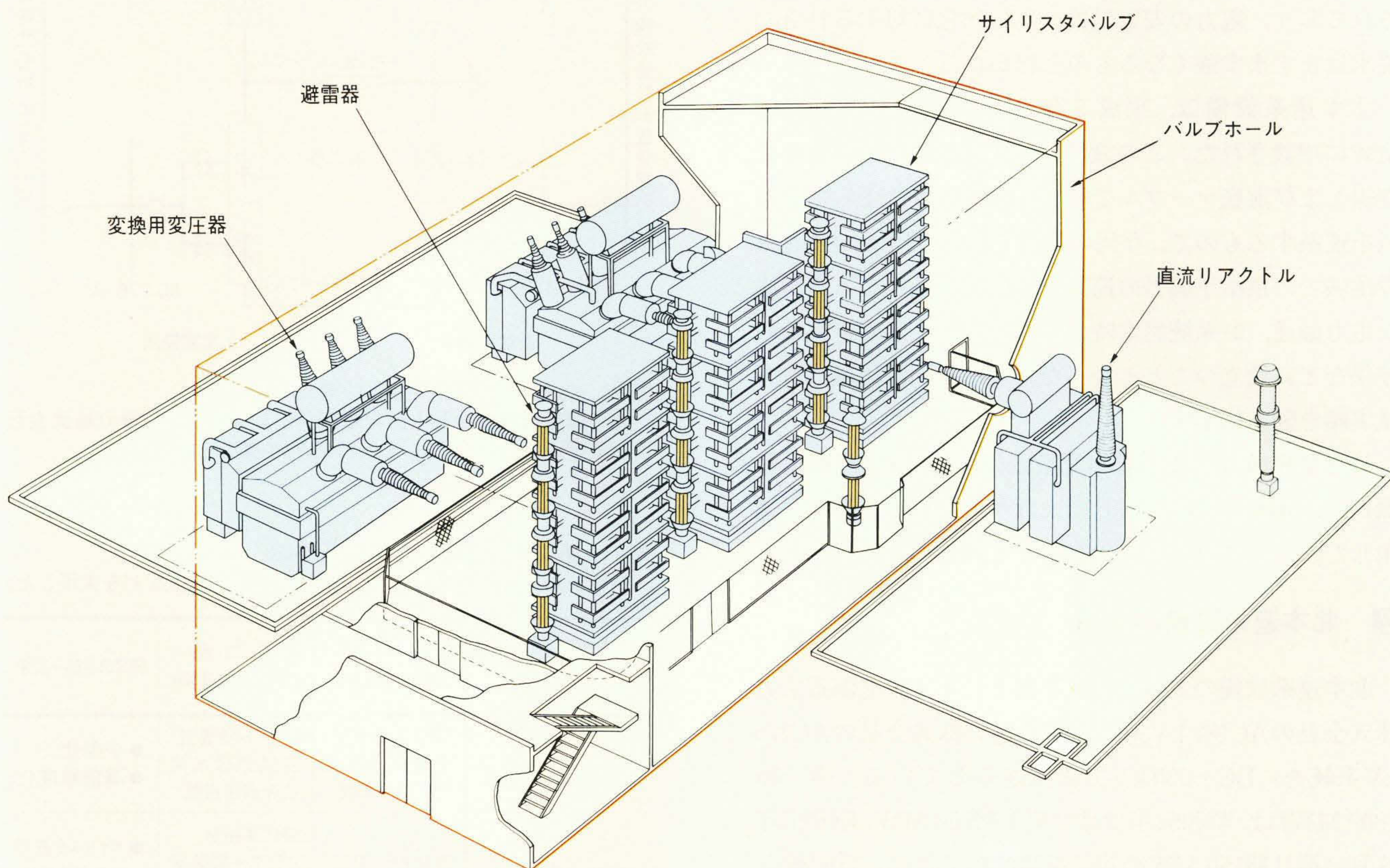
Masayuki Hatano

山崎彰満***

Akimitsu Yamazaki

和田嘉治*****

Yoshiharu Wada



函館変換所の主要機器鳥観図

変換所を構成する主要機器を示す。交流・直流の変換を行うサイリスタバルブは、空調管理されたバルブホール内に設置されている。

電源開発株式会社の北海道・本州間電力連系設備(以下、北本連系設備と言う。)は、平成5年3月に300 MWから600 MWに増設され運開した。

日立製作所は、この設備の親側(主制御指令側)となる函館変換所の主要機器に、(1)直流送電用として世界初の直流250 kV高電圧・大容量の光直接点弧サイリスタバルブ、(2)ポリマー製絶縁容器収納の直流高性能サイリスタバルブ保護用避雷器、(3)高速サ

ンプリングにより、高速制御が可能となった全デジタル多重化制御システムなどを開発・適用し、世界最新鋭の交直変換所設備の完成に貢献することができた。

この設備の増設により、いっそうの電力システムの安定化、広域連系による電力の経済融通などが促進されることとなった。

* 電源開発株式会社 工務部

** 日立製作所 電力事業部

*** 日立製作所 日立工場

**** 日立製作所 国分工場 工学博士

***** 日立製作所 国分工場

1 はじめに

近年、わが国の電力需要は着実な伸びを示し、社会の電気への依存度が高まる中、大型電源の増加、偏在化、遠隔化、需要の不確実性の増大などが課題となっている。また、今後も電力の需要の伸びは堅調に推移すると予想されており、電力の安定供給、高信頼化に対する社会的要求はますます強くなるものと思われる。

北本連系設備は、平成5年3月に300 MWから600 MWに増設された。この設備は、北海道と本州の間を架空線および海底ケーブルで結び、直流送電によって両地域を連系するもので、今回の増設でいっそうの、(1) 連系両地域での供給予備力の節減、(2) 広域連系による経済的な電力融通、(3) 系統異常時の緊急応援による安定供給の確保などに役立つこととなった。北本連系設備融通電力量実績を図1に示す。

日立製作所は、この北本連系設備の親側(主制御指令側)となる函館変換所を担当し、数々の新技術を開発し適用した。ここでは、その代表的なものについて述べる。

2 北本連系設備の概要

北本連系設備の主回路構成を図2に示す。北海道電力株式会社のAC187 kV系統と東北電力株式会社のAC275 kV系統を、DC±250 kVで直流連系している。第一極(300 MW)は、昭和54年12月に第I期150 MW、昭和55年6月に第II期150 MWの運転を開始しており、今回増設

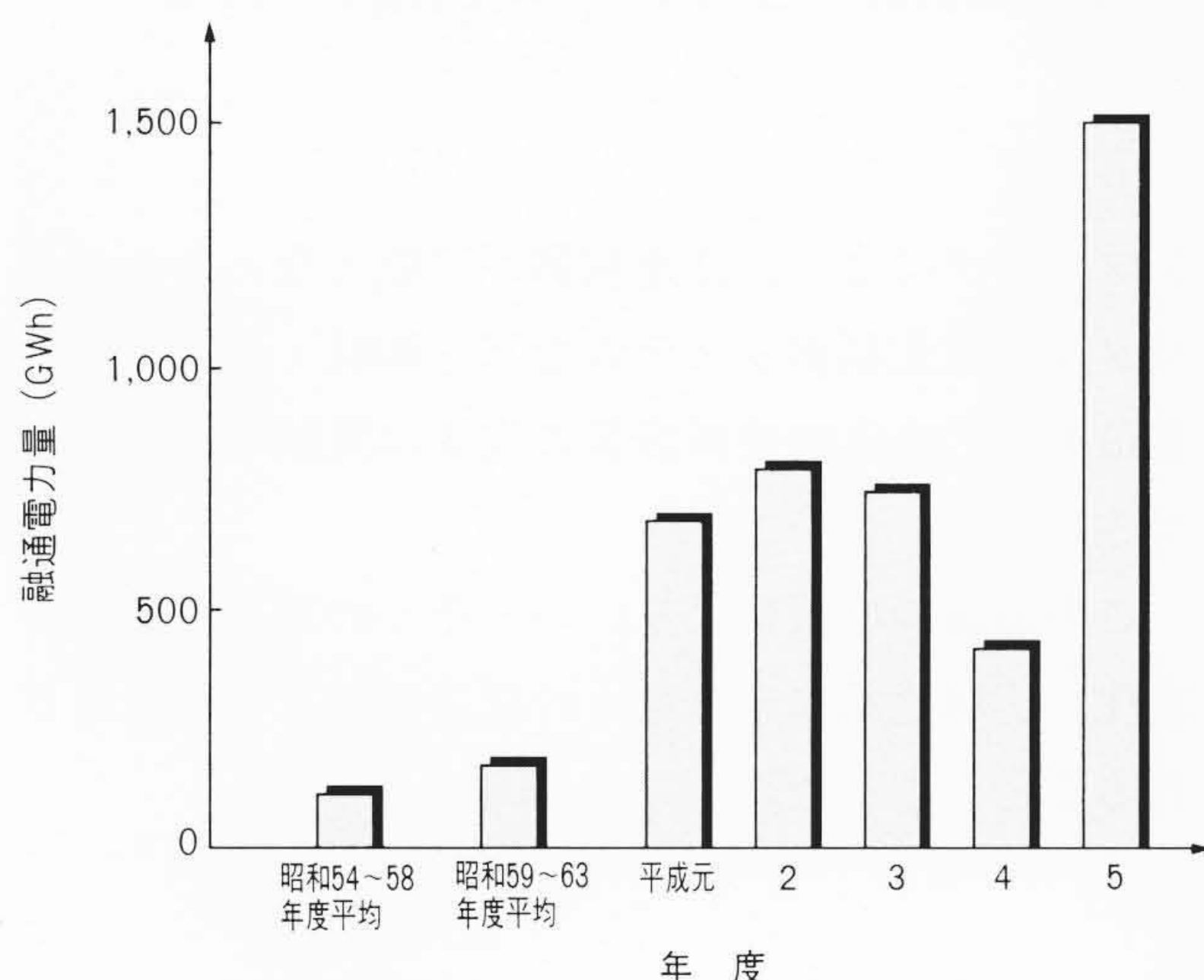


図1 北本連系設備融通電力量実績

近年、この設備の融通電力量は、増設工事のあった平成4年度を除き順調に伸びている。

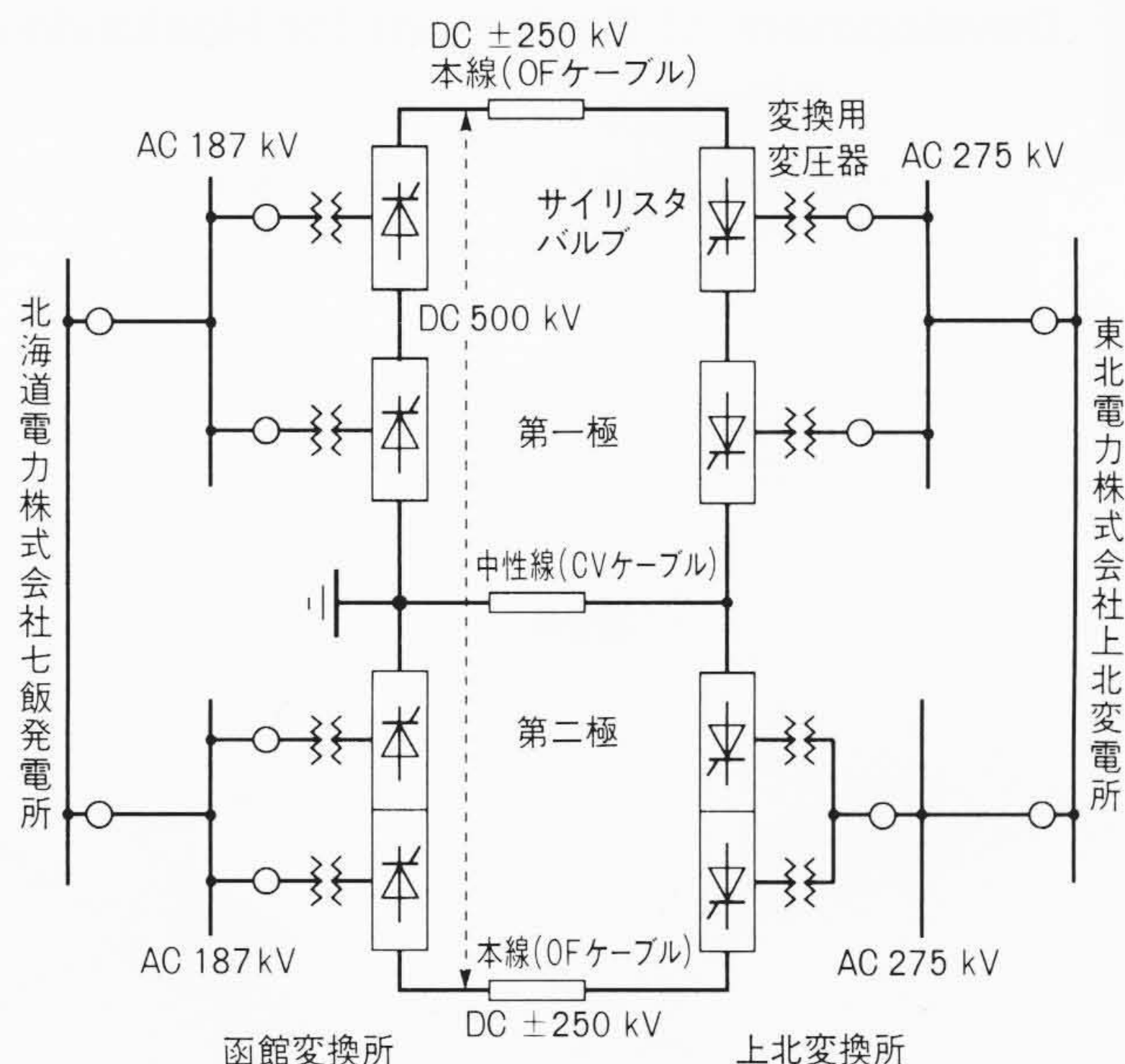


図2 北本連系設備の主回路構成

北海道電力株式会社七飯発電所(AC187 kV)と東北電力株式会社上北変電所(AC275 kV)が、DC±250 kVで連系している。

表1 第二極に適用した主な新技術

新技術の採用により、小型化、高信頼化、機能向上などを実現した。

機 器	第 一 極 (昭和54, 55年運用)	第 二 極 (平成5年運用)	開発の目的・効果
サイリスタバルブ	2アーム積層型 空気絶縁風冷 式光間接点弧	4アーム積層型 空気絶縁水冷 式光直接点弧	● 小型化 ● 高信頼度化
直 流 避 雷 器	直列ギャップ形 がい管	酸化亜鉛形 ポリマー製絶縁 容器 (A-K間避雷器)	● サイリスタ直列 素子数の低減 ● 耐振性の向上
制 御 装 置	アナログ式 一重系	デジタル式 二重系(双極共 通部は三重系)	● 高機能化 ● 高信頼化・保 守性の向上

注：略語説明 A-K間(サイリスタバルブのアノード～カソード間)

されたのは第二極(300 MW)で、総容量600 MWとなった。

日立製作所は、当初から函館変換所の主要機器を担当している。今回、第二極に適用した主な新技術を表1に示す。詳細は次章以降で述べる。

3 サイリスタバルブ

サイリスタバルブは、交流・直流の変換を行う交直変換所の中心機器である。サイリスタバルブの回路構成は、図3に示すように3相ブリッジ接続されたサイリスタバルブを2段直列接続したもので、直流送電での基本的な回路構成となっている。

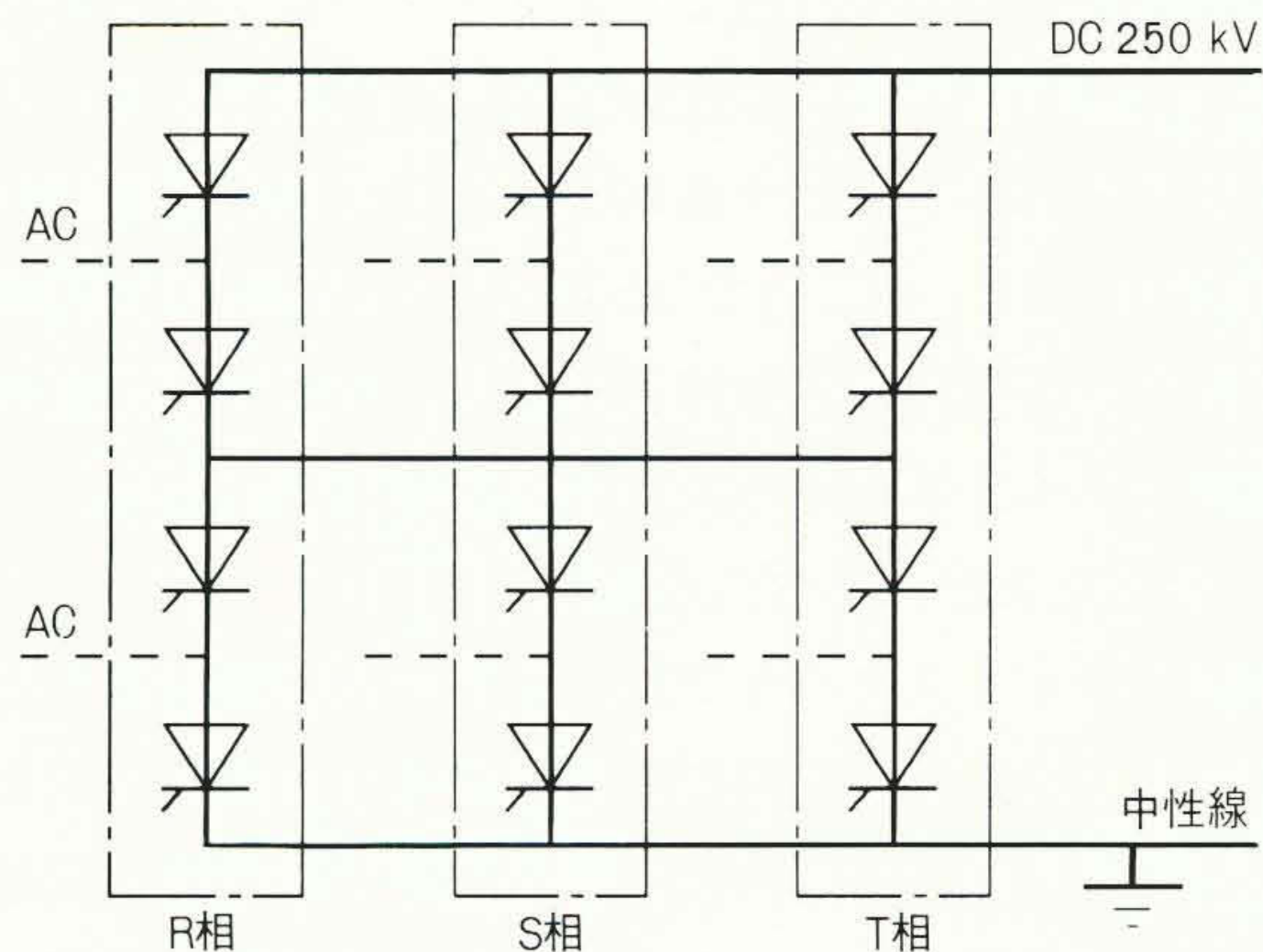


図3 サイリスタバルブの回路構成
3相ブリッジ接続されたサイリスタバルブを2段直列接続し、12相整流を行っている。

3.1 高耐圧光直接点弧サイリスタの採用

第一極で採用した電気サイリスタ(4 kV, 1,500 A)を用いた光間接点弧方式と、第二極で採用した光サイリスタ(6 kV, 1,200 A)を用いた光直接点弧方式との比較を図4に示す。第二極用のサイリスタは、(1)光で直接点弧できること、(2)高耐圧であることが大きな特徴である。光直接点弧方式の採用により、高電圧部であるサイリスタモジュール内の光-電気変換部が不要となったため、パルス増幅器や電源などが不要となり、大幅な部品点数の低減が可能となって容積が60%、部品点数が約10%に低減できた。

3.2 水冷部品の採用

サイリスタモジュールの外観を図5に示す。発熱部品であるアノードリアクトル、スナバ抵抗器を水冷とすることにより、小型・軽量化を図っている。また、サイリスタスタックでは、高性能水冷ヒートシンクでサイリスタ素子を挟み込み、両側から圧接する構造を採用して小型・軽量化を、また常時の使用温度を下げることによる高信頼化を達成した。

3.3 4アーム積層構造の採用

第一極は2アーム積層構造のため、低圧用と高圧用の二つのサイリスタバルブが必要であった。第二極では、前述の高耐圧光サイリスタ、水冷部品の採用と後述する有限要素法による耐震解析技術の進歩により、4アーム積層構造とすることができた。低圧用と高圧用をまとめて一つのサイリスタバルブとしたことにより、設置面積を約半分に縮小している。サイリスタバルブの現地据付け状態を図6に示す。

高さが11 mにも及ぶ4アーム積層サイリスタバルブ

	電気サイリスタバルブ(光間接点弧)	光サイリスタバルブ(光直接点弧)
点弧方式		
モジュール構成例		
部品数	約500	約50

注：略語説明 AL (アノードリアクトル), THY (サイリスタ)
C (コンデンサ), R (抵抗器)

図4 点弧方式によるサイリスタバルブの比較

光直接点弧のサイリスタを使用することで、大幅な部品点数の低減が可能となり、小型化と高信頼化を実現した。

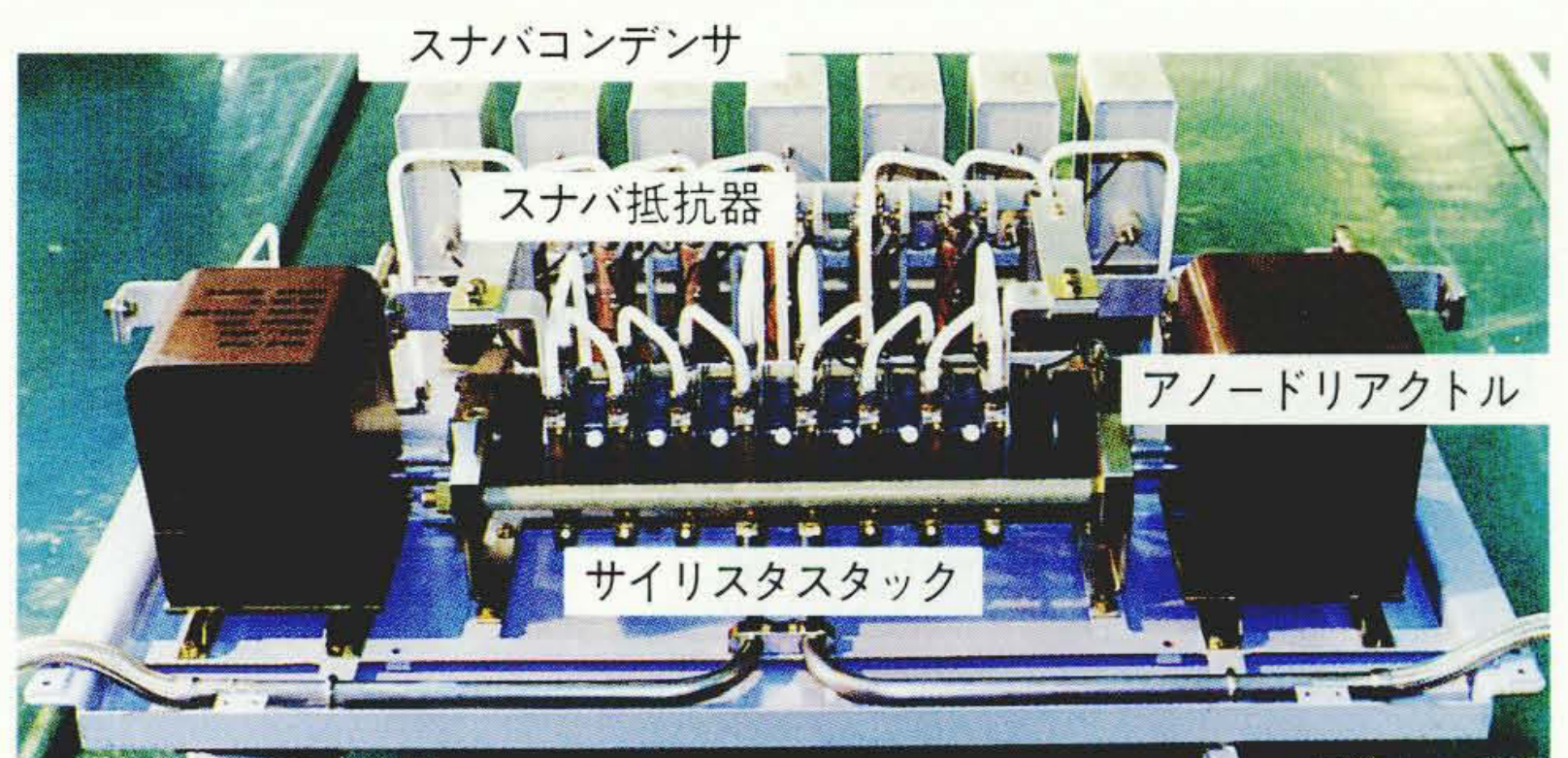


図5 サイリスタモジュールの外観

サイリスタ素子に加え、アノードリアクトル、スナバ抵抗器も水冷とすることで、小型・軽量化を図っている。

では、耐震性能の確保が重要な課題となった。サイリスタバルブは、サイリスタとその周辺回路を搭載したトレー(サイリスタモジュールと呼ぶ。)を積み上げて支柱で支える構造となっているが、絶縁、強度、質量の関係から、支柱にはFRP(Fiber Reinforced Plastics：ガラス繊維強化プラスチック)柱を使用した。しかし、FRP柱はヤング率が鋼材の約 $\frac{1}{10}$ であるため、地震時に変位が大きく



図6 サイリスタバルブの現地据付け状態

バルブホール内に3台(3組)のサイリスタバルブが据え付けられている。サイリスタバルブは高さ11mにも及ぶ。

なるという問題がある。このため、免振構造を含めた有限要素法による耐震解析を実施し、最適な構造を採用している。また、実器担当のサイリスタバルブで固有振動数を測定し、耐震解析の妥当性の検証も行っている。

4 酸化亜鉛形直流避雷器

交直変換所では、(1)雷サージ、(2)線路、変換所内の地絡、短絡時の過電圧、(3)転流失敗、ゲートブロック、全電圧起動時等の制御性過電圧、(4)インバータ負荷遮断時の短時間過電圧、(5)交流側遮断器投入時の過電圧などが発生し、これらの過電圧に対して絶縁協調が考慮されている。

4.1 酸化亜鉛形直流避雷器の適用と効果

直流変換所では、避雷器の制限電圧特性によってサイリスタバルブの直列素子数が選定されることから、サイリスタバルブA-K間用避雷器(LA4)が重要となる。サイリスタバルブA-K間用避雷器の保護レベルの推移を

図7に示す。この10年間でサイリスタバルブの制限電圧は、避雷器の高性能化によって約20%低減されている。サイリスタバルブの素子直列数は、第一極が114直列(4kV素子)に対し、第二極では54直列(6kV素子)で構成されており、避雷器の高性能化により、サイリスタ直列数の低減、サイリスタバルブの小型化が実現された。

4.2 サイリスタバルブA-K間用避雷器

今回のサイリスタバルブは、4アーム積層構造を採用しているため、A-K間用避雷器をサイリスタバルブと一体構造にする際、従来のがい管収納型では耐震上問題があることが予想された。そのため、送電用避雷装置で実績を積んできたポリマ製絶縁容器収納型を直流用として開発し、サイリスタバルブ一体構造を実現した(図8参照)。A-K間用避雷器はサイリスタバルブからの継手によって支えられ、各アームとはフレキシブル導体で接続されている。

4.3 サイリスタバルブA-K間用避雷器の漏れ電流管理

従来、対地絶縁されている避雷器では、保守点検が困難なことから、A-K間用避雷器を監視する方法として、最下段(接地側)避雷器だけの温度や漏れ電流を連続監視する方法¹⁾が開発されていた。今回、これに対し漏れ電流計と度数計を並列配置し、内部抵抗で分流させ、漏れ電流計の振れでA-K間用避雷器の健全性を外部から目視点検する方法を開発した。これにより、上段側の対地絶縁されているものも含め、全A-K間用避雷器を運転状態で容易に監視できるようになった(図8参照)。

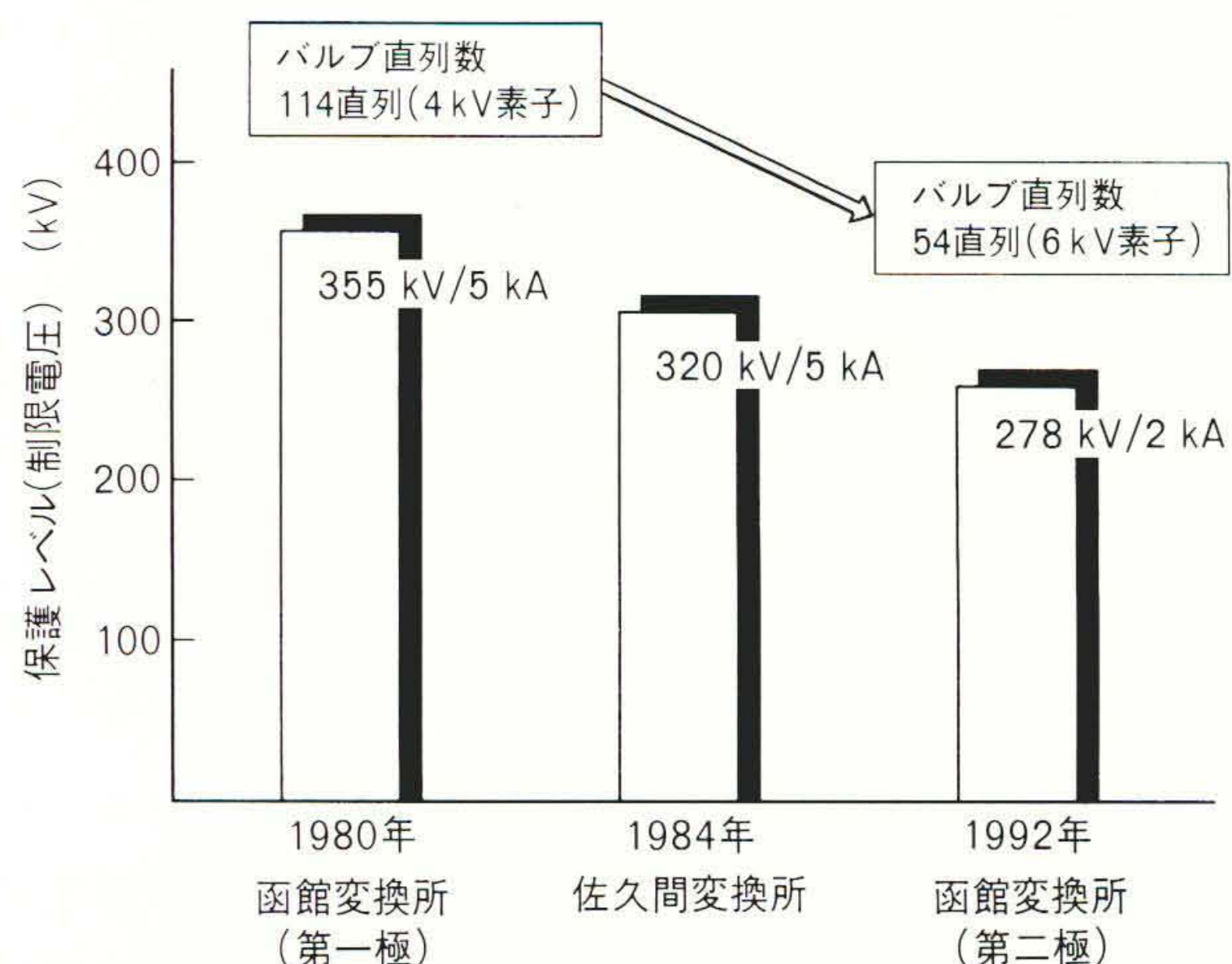
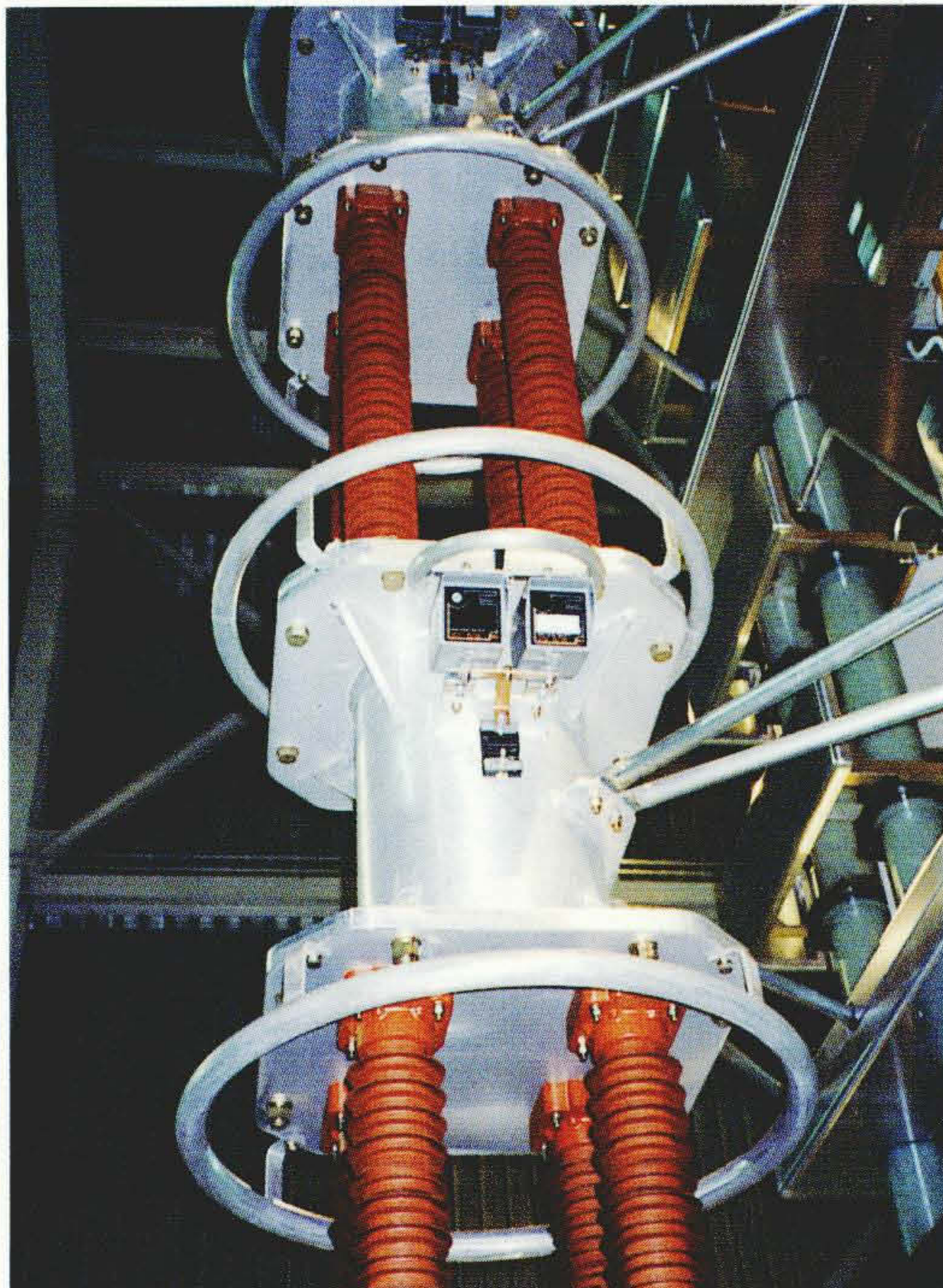
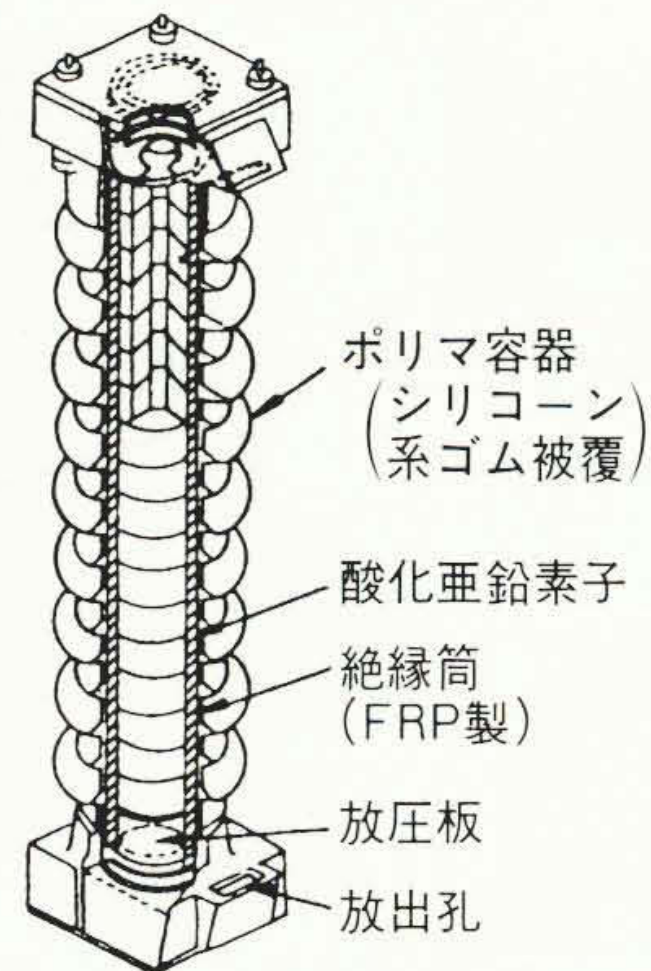


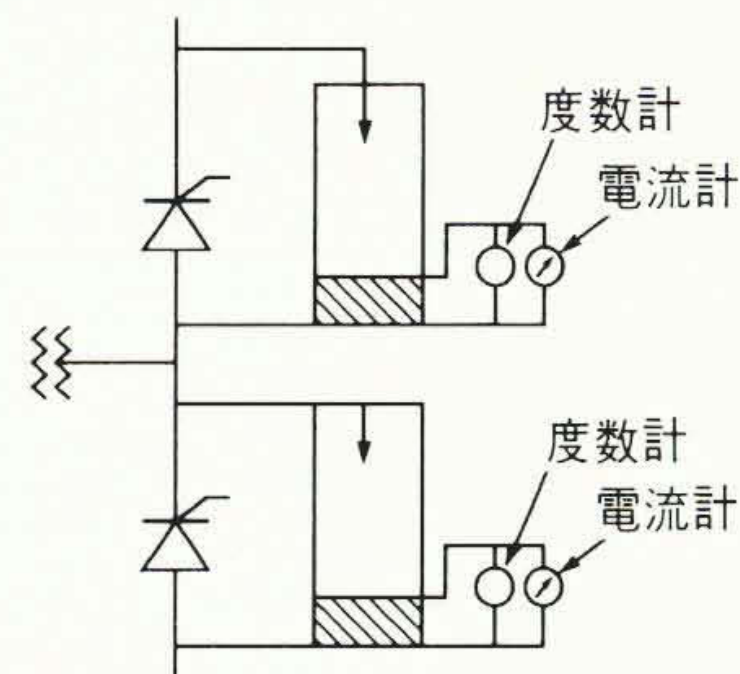
図7 サイリスタバルブA-K間用避雷器の保護レベル低減の推移
避雷器の高性能化によって保護レベル(制限電圧)が低減され、サイリスタバルブの小型化が図られた。



(a) DC 250 kV用避雷器の外観



(b) ポリマ型避雷器の内部構造



(c) 漏れ電流検出方法

図8 サイリスタバルブA-K間用避雷器の外観と構成

酸化亜鉛素子をポリマ製絶縁容器に収納することで耐震性能を向上させ、バルブと一体構造とすることを可能にした。

5 制御装置

5.1 制御装置の概要

制御装置は、函館変換所と上北変換所の両端に設置され、親変換所である函館変換所で起動、停止などの操作指令および設定値の決定が行われている。

今回の増設に伴い、日立製作所が製作を担当した函館変換所側制御装置のシステム構成を図9に示す。このシステムは、(1)既設(第一極)と同様、変換器の制御保護を行う第二極制御装置、12相制御装置、(2)第一、第二双極の制御を行う共通制御装置、系統信号処理装置、SP変換装置、(3)北地域制御所からの運転制御自動化を行うシーケンサ盤、自動制御装置などで構成している。これらの主要な装置に高速処理のデジタル演算装置を採用し、常時データ表示、データセーブおよび常時監視機能を追加することによって高性能化を、また、多重化することによって高信頼度化を実現した。さらに第一極と同様のAPSS(Automatic Power Setting Switch:自動追従電力設定)機能に加え、電力配分(均等配分・電力逆送)機能を備えることにより、幅広い電力の受給および系統安定度の維持を可能にした。

5.2 高速サンプリング制御

このシステムの心臓部である変換器制御には、過渡時の過電流抑制や安定運転維持のため、高速応答が要求さ

れる。

そのためマルチCPUシステムを導入し、制御演算を2台のCPUを用いて異なるサンプリングで分割処理する手法を導入した。これにより、定電流制御部の演算を一般のデジタルリレーの $\frac{1}{5}$ の時間(電気角6度)で演算する高速定電流制御(ACR: Automatic Current Regulator)が可能となり、直流地絡事故時の過電流を2.0 p.u.以下に抑え、サイリスタバルブへのストレスを軽減することができた。

5.3 多重化構成

このシステムの多重化構成を表2に示す。各装置の役割、機能によって以下の3タイプの多重化を実施している。なお、いずれのタイプでも、装置単独の故障ではシステムダウンには至らない構成としている。

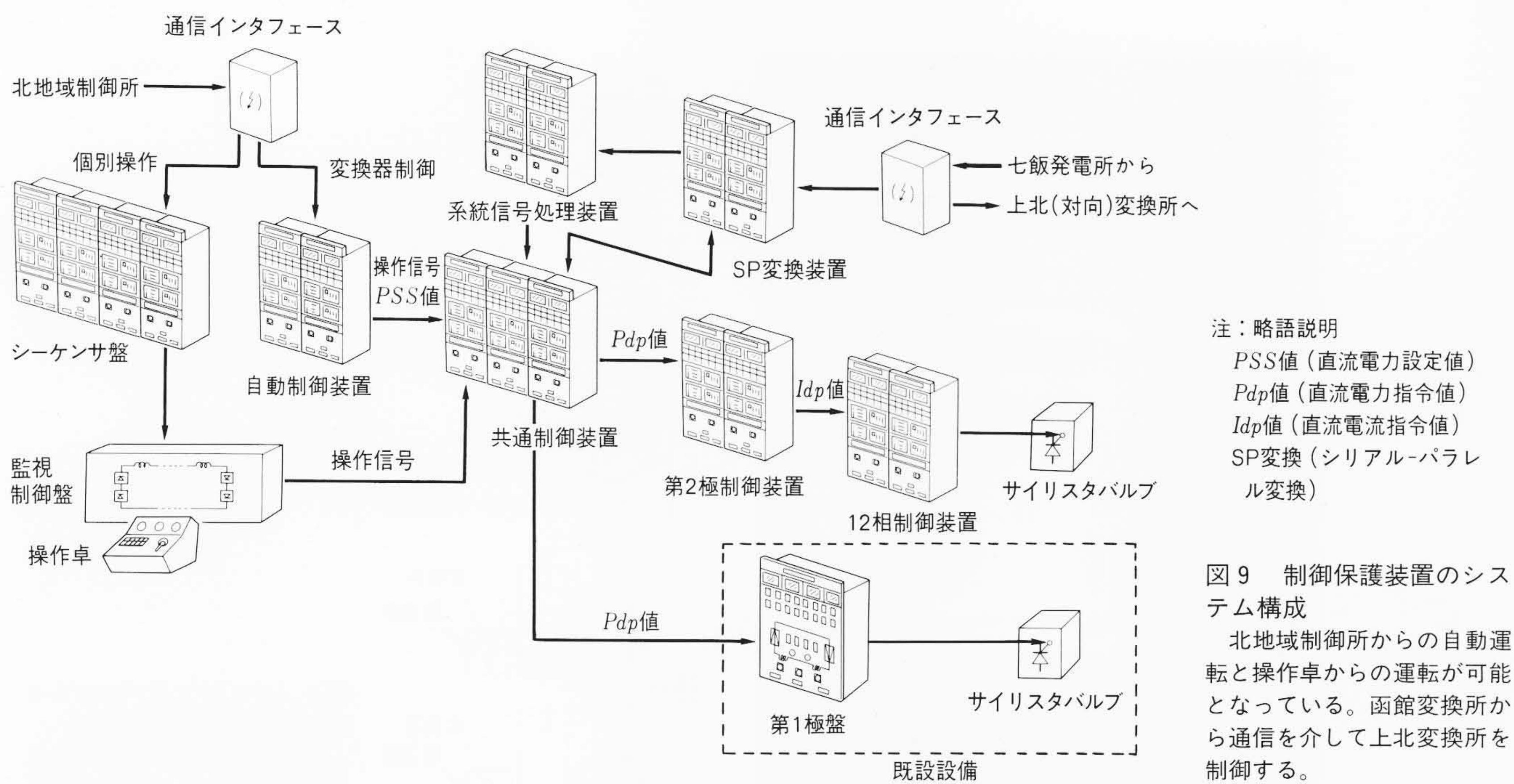
(1) 常用・待機系

常時は、スイッチによって選択された系で運転しており、運転系が故障または異常になったときに人間の操作で待機系を使用するものである。高速な制御が不要な装置に適用する。

(2) 二重系

常時2系の装置を使用し、異常時には異常になった系を切り離し、または装置ロックをする。主に高速な制御、保護を必要とする装置に適用する。

(3) 三重系



注：略語説明
PSS値（直流電力設定値）
Pdp値（直流電力指令値）
Idp値（直流電流指令値）
SP変換（シリアル-パラレル変換）

図9 制御保護装置のシステム構成
北地域制御所からの自動運転と操作卓からの運転が可能となっている。函館変換所から通信を介して上北変換所を制御する。

表2 制御保護装置の多重化構成
各装置の役割、機能により、3タイプの多重化を実施している。装置単独の故障ではシステムダウンしないように配慮している。

区分	盤名称	タイプ	多重化
監視制御	操作卓	A	—
	監視補助盤	A	—
	シーケンサ盤	D	常用・待機系
	自動制御装置	D	二重系
一、二極共通	共通制御装置	D	三重系
	系統信号処理装置	D	常用・待機系
信号転送	SP変換装置	D	二重系
二極直流	第二極制御装置	D	二重系
	12相制御装置	D	二重系

注：略語説明 SP変換(シリアル-パラレル変換), A(アナログ), D(デジタル)

常時3系の装置を使用し、異常時には異常になった系をロックする。第一、第二双極の装置を制御する共通制御装置に採用し、運転中の点検時でも二重系を確保している。

5.4 親変換所の制御

第二極の増設によって、親変換所では次の第一、第二双極の制御が必要となった。

- (1) 単極運転、双極運転、電力逆送運転(第一極と第二極の潮流方向を逆転した運転モード)、および停止の四つのモードの切り替え
- (2) 電力設定値を各極に適切に配分する制御

この設備では、これらの制御を図9に示すシステムで実現した。すなわち、北地域制御所でスケジュール設定される電力指令値を自動制御装置で登録し、それに基づいて共通制御装置の自動追従電力設定(APSS)部で系統の周波数、電圧および系統信号処理盤からの運用リミッタ制約、系統制御条件を加味し、直流電力指令値(Pdp値)として出力し、第一極、第二極の制御装置に配分し制御している。

6 おわりに

わが国の電力需要は今後とも着実に増加し、電源の遠隔化、偏在化に伴って、電源の広域運営、直流送電へのニーズがますます高まってくると思われる。

北本連系設備で培った技術にとどまることなく、いっそうの高信頼度、高性能、コンパクトな直流送電システムの実現に向けて総力を結集している。

参考文献

1) 竹之内、外：電源開発株式会社北海道・本州間電力連系計画の概要と函館変換所用変換設備、日立評論、61, 2, 103~110(昭54-2)

2) Y. Yamazaki, et al. : Monitoring of Surge Arresters in AC/DC Converter Station, 8th ISH, 66.09(1993)