

スポットネットワーク受電設備

Spot-Network Receiving Equipment

最近、ビルの高層化・大形化に伴って、ビル用受変電設備は大容量・高電圧化が進んでおり、66kV級受電のビルも増えてきている一方、都市過密地域に対する22～33kVスポットネットワーク配電網の拡充により、中形ビルの領域までスポットネットワーク受電設備が採用されるようになってきた。

これらの需要の拡大に伴い、受変電システム構成機器に対するニーズも多様化し、信頼性向上、縮小化及び保守の省力化の要求にこたえるため、スポットネットワーク受電方式にマッチした新しいハードウェアも開発されている。そこで、スポットネットワーク受電設備の計画法、機能及び保護協調の説明と合わせ紹介する。

大鋸英五* Ôga Eigo
柳田節雄* Yanagida Setsuo
斉藤 博** Saitou Hiroshi

1 緒 言

都市過密地域への配電近代化の一環として、中・大形ビル受変電設備へのスポットネットワーク受電方式の採用が拡大している。

日立製作所でも、昭和44年8月世界貿易センタービルに対し2,000kVA×3バンク、1,000kVA×3バンクのスポットネットワーク受電設備を納入以来多数を各方面に納入している。

本稿では、スポットネットワーク受電方式の概要、ビルの規模に対する受電容量の計画法、及びスポットネットワーク受電方式の持つ、高信頼性、省力化などの特長を更に伸ばすための新しい構成機器について述べる。

2 スポットネットワーク受電方式

2.1 受電方式の概要

スポットネットワーク受電方式は、3～4回線の22kVあるいは33kVで受電し、特別高圧側にはしゃ断器を設けず、変圧器の励磁電流開閉可能な断路器だけを設置する。そして、各回線ごとに設けたネットワーク変圧器、ネットワークプロテクタを介して、各バンクをネットワーク母線で並列運転するものである。

ループ受電方式が、各需要家の受電しゃ断器を直列に接続して環状配電線を構成し、区間保護リレー(表示線リレーによる)で故障区間を除去することにより供給信頼度向上を図っているのに対し、スポットネットワーク受電方式では、3～4回線の配電線に幾つもの需要家の変圧器が並列的に接続され、一方、各需要家のネットワーク母線で異なる回線の配電線の並列運転を行ない、需要家の各バンクごとにおかれたネットワークリレーの事故区間除去機能(逆電力しゃ断動作)によりループ受電方式以上の供給信頼度向上を図っている。

2.2 電気方式

ネットワーク母線電圧を高圧(6.6kV又は3.3kV)とする高圧スポットネットワークと、低圧(415V)とする低圧スポットネットワークがある。

スポットネットワーク方式は、負荷の集中しているビル受電設備に採用されることが多く、スポットネットワーク受電設備の多くが低圧方式である。高圧方式は、従来高圧受電で使用していた受変電設備に加えて、スポットネットワーク方式により特別高圧受電に格上げする場合に適している。

3 スポットネットワーク受電設備の計画

3.1 受電設備容量の算出

スポットネットワーク受電方式は、特別高圧側にしゃ断器及び保護リレーを設けないため、変圧器二次側の保護方式が電力会社の配電線保護方式と密接な関連を持つ。

スポットネットワーク受電方式の大部分を占める低圧スポットネットワーク方式では、プロテクタヒューズにより過電流保護を行なうが、CT比やリレーのタップ、レバーにより微調整できる過電流リレーによる保護方式に比べて、ヒューズでは、きめ細かい動作特性の変更はできない。このため、経済性、電力会社との保護協調方式の標準化を考えて、500kVA、750kVA、1,000kVA、(1,250kVA)、1,500kVA、2,000kVA、(2,500kVA)のようにネットワーク変圧器の容量とインピーダンス電圧が段階的に標準化されており、これにマッチしたフレーム電流値のプロテクタヒューズが準備されている。ビルの規模に応じた受変電設備容量は、本特集号中の「ビル用受変電設備の計画」を参照されたい。

3.2 自家発電設備容量の算出

自家発電設備の容量は、買電停電時、供給されるべき非常用回路の設備容量によって決まる。過去の実績から、ビルの用途によっても異なるが、契約最大電力(kW)の16～30%(kVA)である。

3.3 進相用コンデンサ容量の算出

進相用コンデンサ容量 P_c (kVA) は、(1)式により求める(図1)。

$$P_c = \left[\sqrt{\left(\frac{1}{P_{f1}}\right)^2 - 1} - \sqrt{\left(\frac{1}{P_{f2}}\right)^2 - 1} \right] (P_P + P_A) \cdot \frac{\alpha}{\eta} \text{ (kVA)} \dots\dots\dots(1)$$

ここに P_{f1} : 一般動力+空調動力の力率
 P_{f2} : 改善後の力率
 P_P : 一般動力(kW)
 P_A : 空調動力(kW)
 α : 需要率
 η : 一般動力+空調動力の効率

需要率を60%、動力の効率を90%、力率を80%とし、最大電力使用時の力率を95%に改善するとしたときの進相コンデンサ容量は、変圧器容量の18～20%となる。

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所機電事業本部

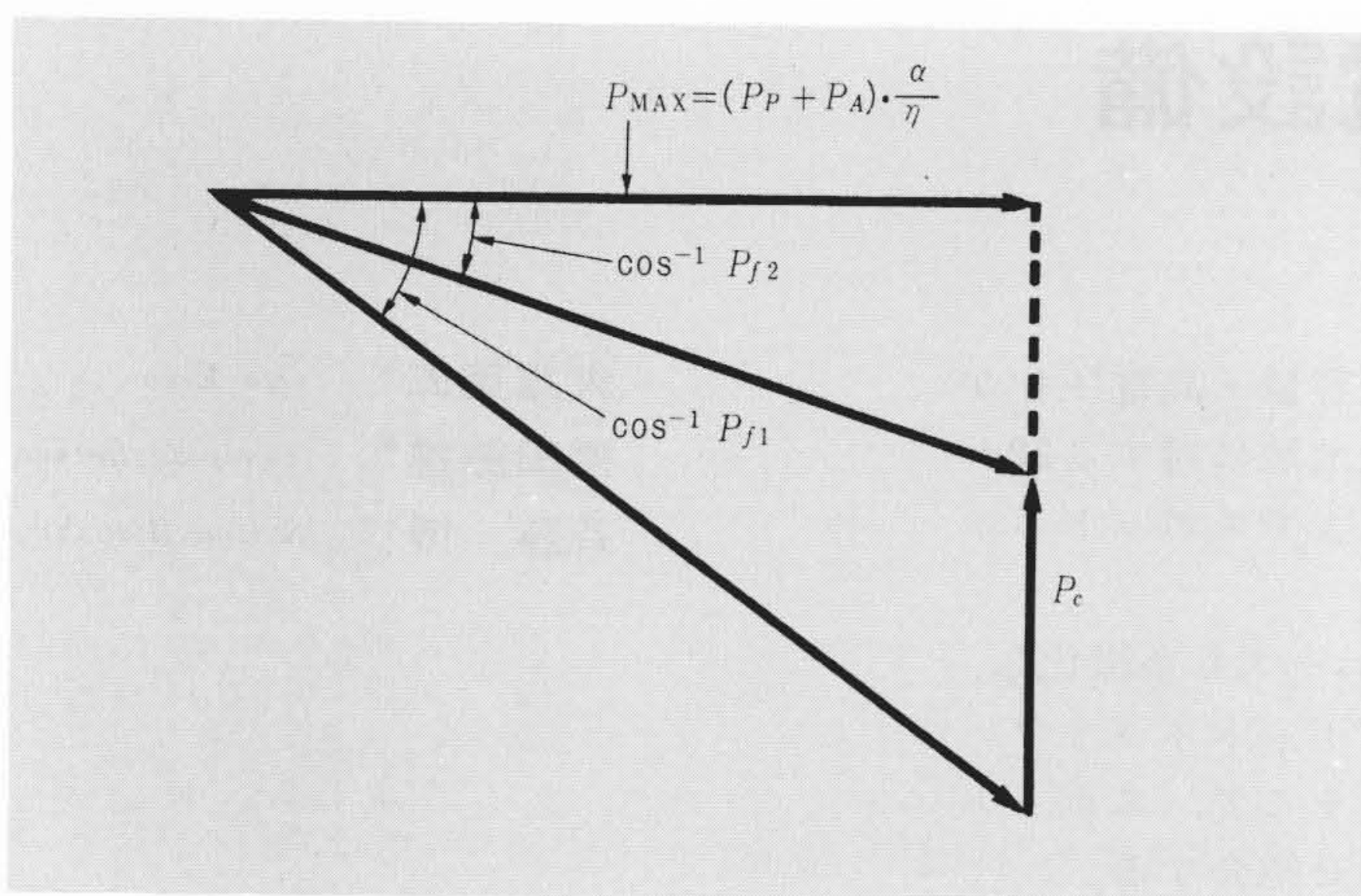


図1 進相コンデンサ容量 予想される力率 P_{f1} と改善すべき力率 P_{f2} より P_c を求める。

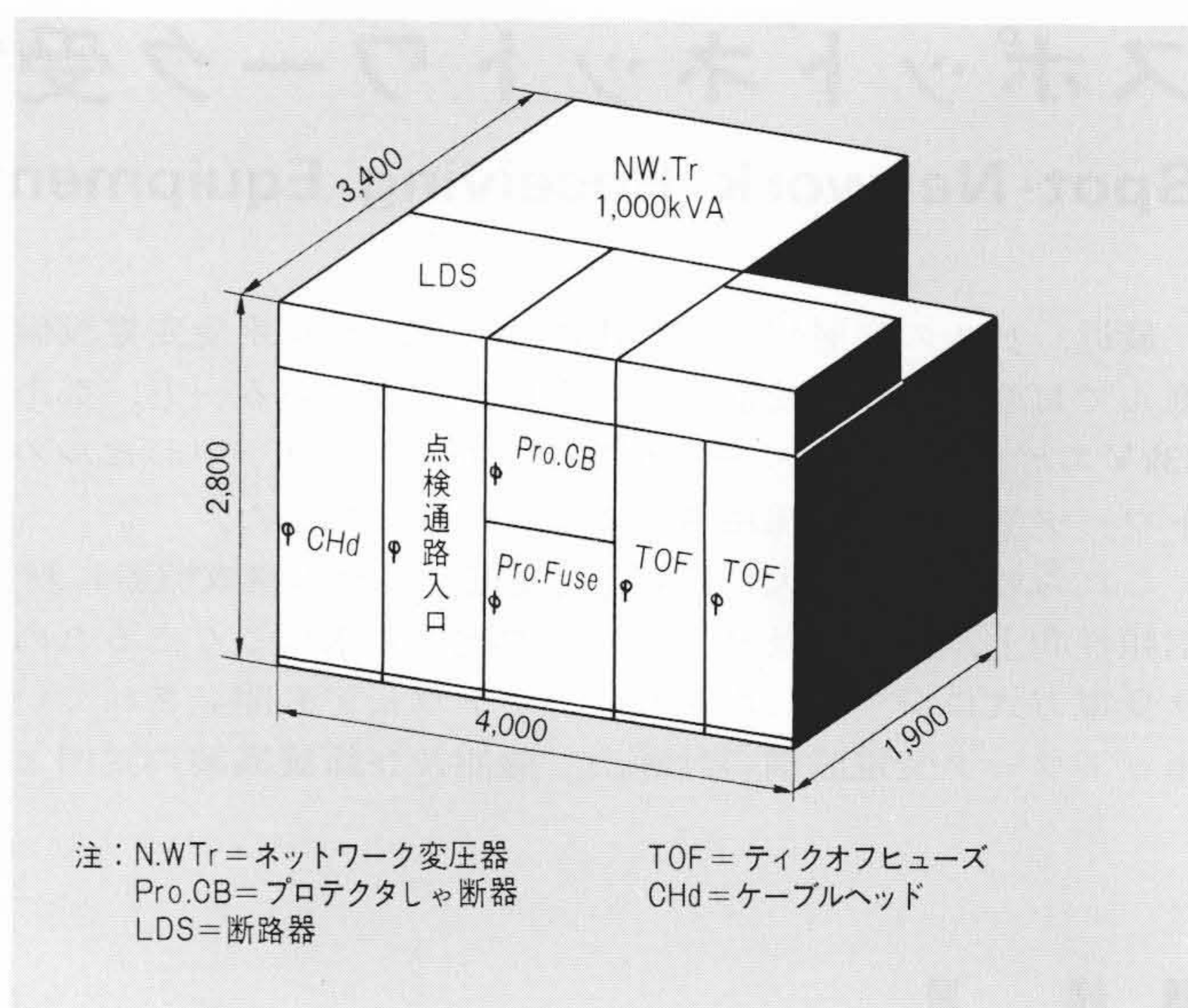


図3 一体形スポットネットワークレイアウト 変圧器キュービクル、プロテクタ装置及びテイクオフ装置を一体構成した例である。

3.4 標準単線接続図とレイアウト

図2に22kV/415V、1,000kVA×3バンクの代表的な単線接続図を示す。図3、4は図2に基づく、変圧器プロテクタ一体形、及び分離形の1バンク分のレイアウトを示すもので、変電室の形状により選択される。

4 構成機器

4.1 一次断路器

一次断路器は二次側の気中しゃ断器とインターロックされているため負荷電流を開閉する必要はないが、変圧器無負荷

励磁電流の開閉を行なう必要がある。

一次断路器は、可動接触子が直線運動するリニア形で、キュービクル内部にコンパクトに収まる形状となっている。本器の下部にあるシリンダ内部の空気が、可動接触子の先端に設けられたノズルから噴出する際、アークを吹き消す空気吹付形である。操作は手動操作であるが、投入、しゃ断ともば

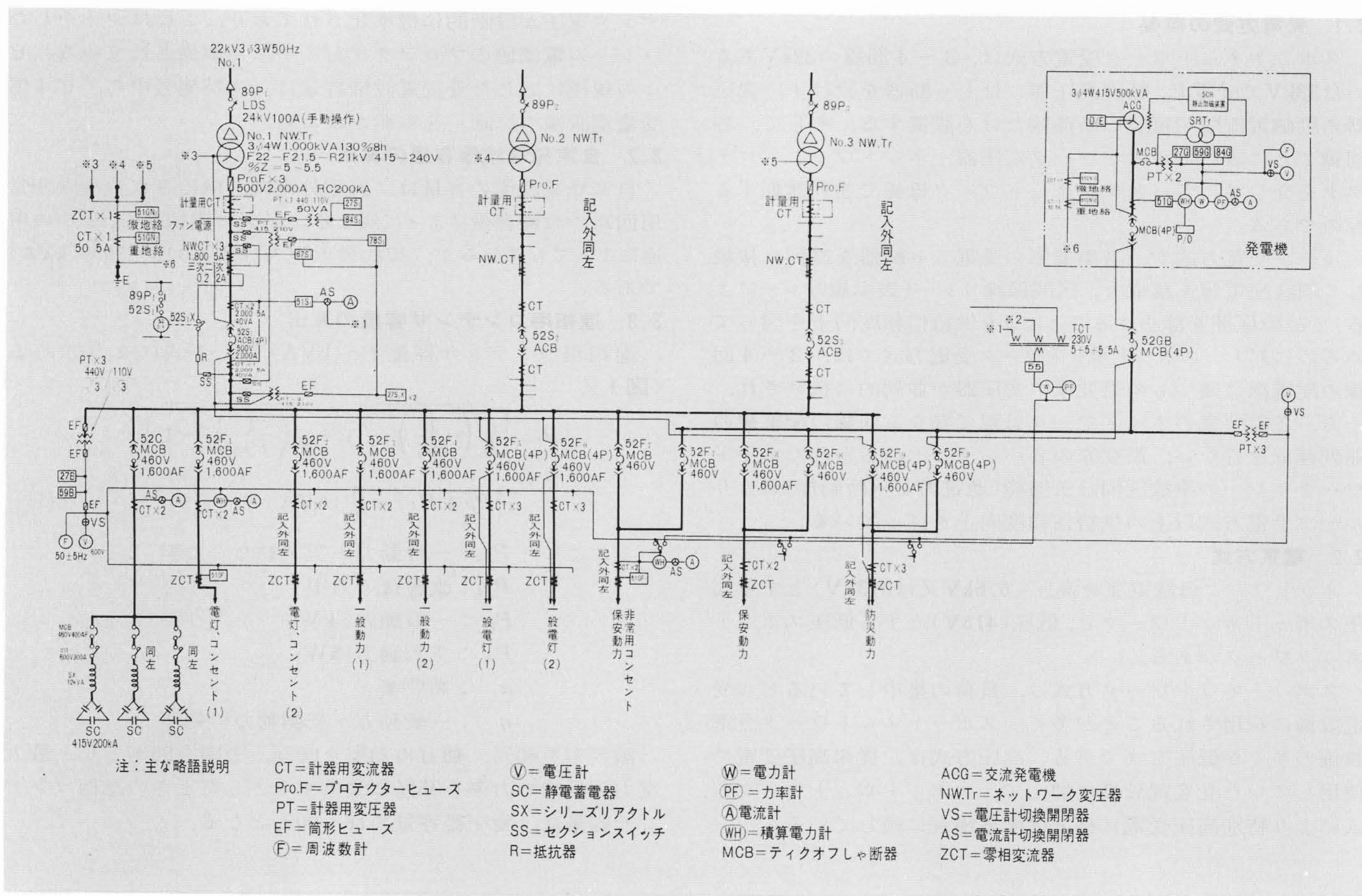


図2 スポットネットワーク受電設備単線接続図 1,000kVA×3バンク、非常用発電設備500kVAの例を示す。

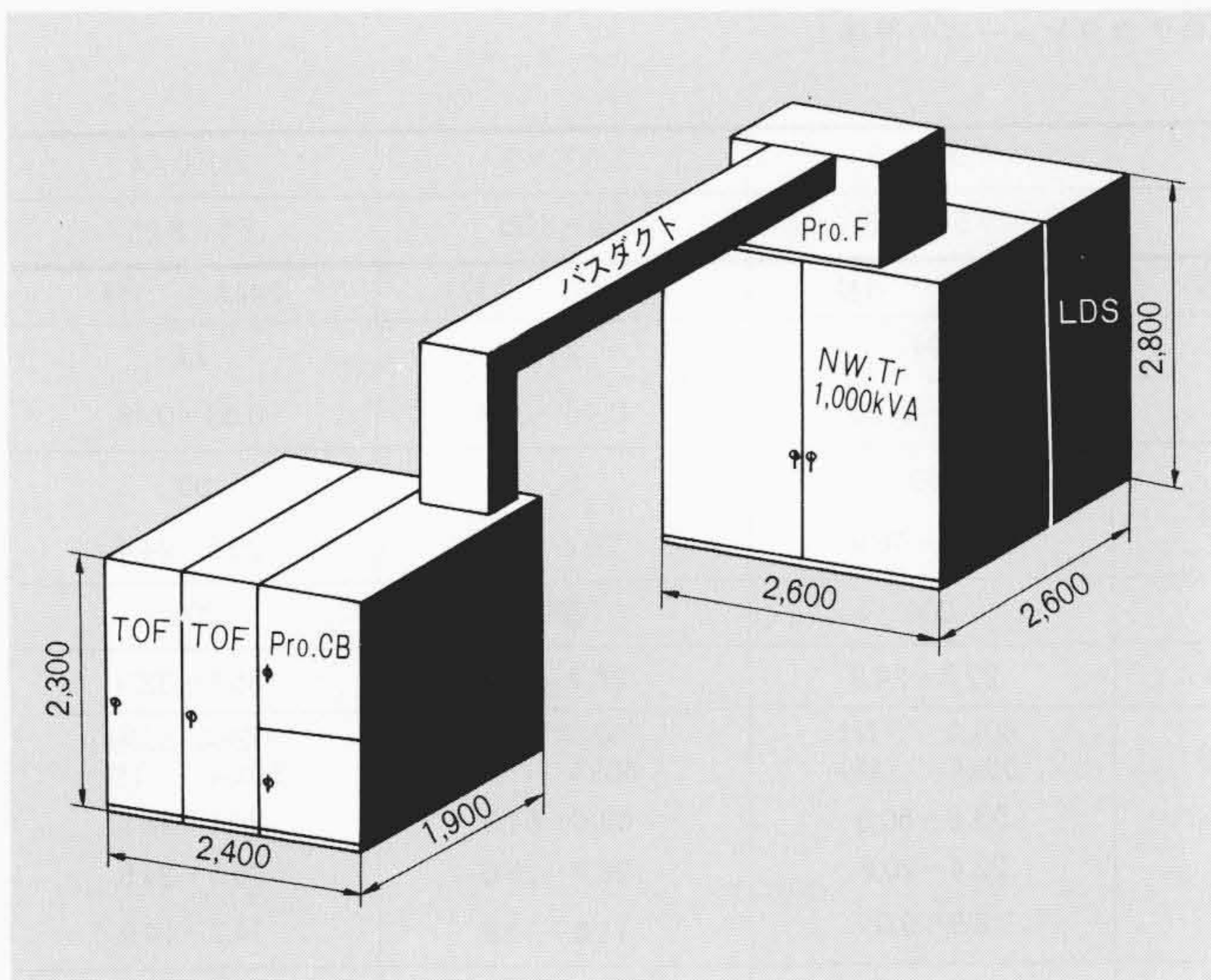


図4 分離形スポットネットワークレイアウト 変圧器キュービクルと、プロテクタ装置、テイクオフ装置を分離配置した例である。

ねで急速に動作し、手動操作時間の相違によって開閉特性が変わることはない。

4.2 ネットワーク変圧器

変圧器はスポットネットワーク受電方式の特質上、年数回の130%の過負荷運転を8時間行なえるようになっている。まれに油入変圧器が使用されることがあるが、多くはビル内での防災上の観点から乾式変圧器が使用される。近年、信頼性、保守性に優れたレジンモールド変圧器(詳細は本特集号の

「レジンモールド変圧器」を参照されたい)が開発され、ネットワーク変圧器にも採用されるようになった。

4.3 プロテクタ装置及びテイクオフ装置

プロテクタ装置は、スポットネットワーク受電設備の心臓部とでもいふべきもので、ネットワークリレー、プロテクタしゃ断器、プロテクタヒューズなどを内蔵している。テイクオフ装置は幹線用配線しゃ断器(2,000kVA×3バンク以上ではテイクオフヒューズを組み合わせる)で配電線保護を行なうものである。

装置の形態は、縮小化のニーズにこたえて一次断路器、ネットワーク変圧器、プロテクタ装置及びテイクオフ装置を一体構成とした一体形(図5)と、変圧器キュービクルと、プロテクタ装置、テイクオフ装置を別列盤とした分離形がある。

プロテクタしゃ断器には、三相4線式配電線での中性相の開閉を容易にした4極気中しゃ断器(図6)が使用され、表1に示すようにB点短絡時、他回線のプロテクタヒューズが保護しゃ断するまでの過電流に耐えるよう、60kA 0.7秒、102kA 0.7秒などの特別な短時間電流性能を持っている。

プロテクタヒューズ、テイクオフヒューズはJEM-1325(1974)を適用して製作されている。必要なしゃ断容量は、プロテクタヒューズでは100kAを超えることはないが、大電流しゃ断の必要なテイクオフヒューズと共用とし、200kAとしてある。

5 スポットネットワークプロテクタの機能

スポットネットワーク受電方式は、前述のように供給信頼度の高い方式である反面、他の需要家にかかわる特別高圧配電線変圧器の事故に対しても、事故区間除去のために当該バンクをしゃ断する必要がある、事故の復旧とともに受電しなければならない。このような運転操作が繁雑になることに対処して、

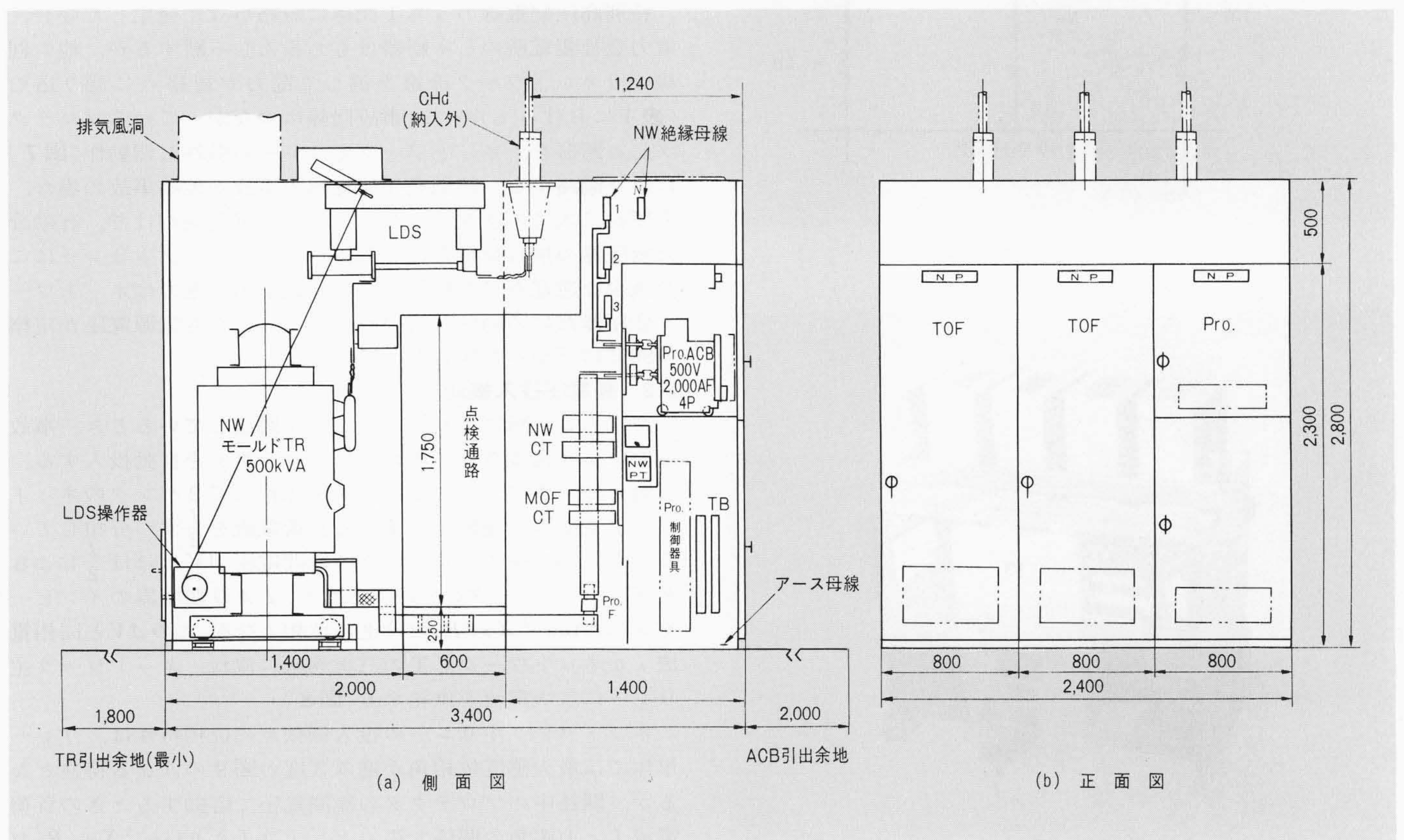
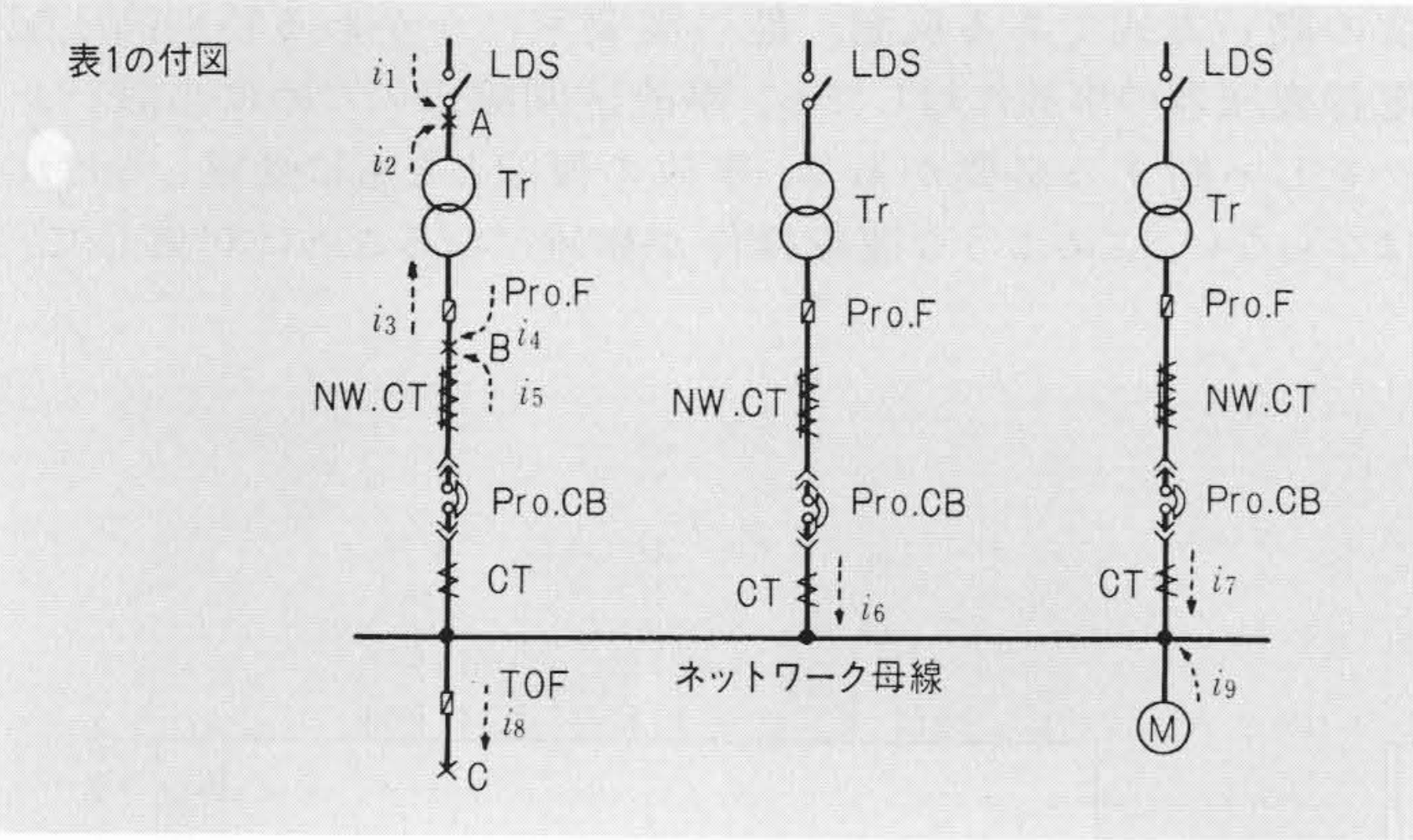


図5 一体形プロテクタ装置構造図 高密度実装による保守性の低下を防ぐため、内部に点検通路を設けている。

表1 事故時の短絡電流と機器定格 回路のどこで短絡事故が発生してもプロテクタヒューズの保護し
や断までの過電流に耐えるよう設計されている。

ネットワーク変圧器容量 (kVA)			1,000×3	1,500×3	2,000×3	2,000×4
ネットワーク変圧器インピーダンス (%)			5~5.5	7.5~8.25	7.5~8.25	7.5~8.25
短 絡 事 故 時 電 流	20kV 側 短 絡 A 点	LDS定格短時間電流	24kA 1秒	24kA 1秒	24kA 1秒	24kA 1秒
		i_1 (対称値) (kA)	24	24	24	24
		i_2 (対称値) (kA)	0.35~0.32	0.36~0.33	0.48~0.44	0.53~0.48
		Pr.CB定格しゃ断電流 (kA)	50	50	50	50
	変 圧 器 二次短絡 B 点	i_3 (対称値) (kA)	17.8~16.4	18.3~16.9	24.1~22.0	26.6~24.4
		Pro.F定格しゃ断電流 (kA)	200	200	200	200
		i_4 (対称値) (kA)	27.3~24.8	27.3~24.8	36.1~32.9	36.1~32.9
		Pro.CB定格短時間電流	50kA 1秒	60kA 0.7秒 50kA 1秒	102kA 0.7秒 50kA 1秒	102kA 0.7秒 50kA 1秒
		i_5 (対称値) (kA)	49.7~46.5	53.8~50.5	69.0~64.9	94.1~88.8
		i_6, i_7 (対称値) (kA)	21.9~20.3	22.4~20.8	28.7~26.6	26.5~24.5
	フィーダ 短 絡 C 点	i_9 (対称値) (kA)	5.9	8.9~9.0	11.5~11.8	14.7~14.9
		TOF定格しゃ断電流 (kA)	——	——	200	200
		i_8 (対称値) (kA)	80.6~74.6	84.7~78.6	110.1~102.4	143.9~134.0
		$i_4 + i_6 + i_7$ (対称値) (kA)	73.9~67.9	74.6~68.5	96.7~89.0	126.0~116.2
i_4, i_6, i_7 (対称値) (kA)		24.6~22.6	24.9~22.8	32.2~29.7	31.5~29.0	
計算条件	i_9 (対称値) (kA)		6.7	10.1	13.4	17.9
	20kV短絡容量1,000MVA (Tr 定格 kVAベース) (%)		0.100	0.150	0.200	0.200
	Tr インピーダンス(定格kVAベース) (%)		5~5.5	7.5~8.25	7.5~8.25	7.5~8.25
	プロテクタインピーダンス(定格kVAベース) (%)		0.35	0.44	0.53	0.53
電動機発電効果 (Tr 1台当たり定格kVAベース) (%)			62.2% (動力負荷は Tr 容量の75%とし、稼働率60%, $x_d'' = 28\%$)			



次の三つの機能により停電、復電に対する運転操作が自動化され、努めて全バンクの並列運転を行なうようになっている。

5.1 逆電力しゃ断機能

特別高圧配電線のうち1回線に短絡事故が発生した場合、電力会社変電所のしゃ断器はもちろんしゃ断するが、他の回線よりネットワーク母線を通して電力が短絡点に回り込む(表1における i_3)ので、事故回線につながっているプロテクタしゃ断器を、ネットワーク主リレーの引外し側動作(図7)により開路する。特別高圧配電線の事故が地絡事故の場合、変圧器二次での逆電流はケーブルの充電電流だけで、有効分は変圧器の無負荷損だけとなる。ネットワーク主リレーはこの微少な逆電力でも動作するよう最小動作電力はネットワーク変圧器だけの励磁電流の有効分で、しかも電源電圧が定格の90%に下がった場合としている。

5.2 差電圧投入機能

逆電力しゃ断によりプロテクタが開路しているとき、事故復旧により送電されてきたときプロテクタを自動投入する。

例えば、3バンク中1バンクが休止して2バンクのネットワーク変圧器が運転し、 I なる負荷電流を $\frac{I}{2}$ ずつ分担しているとき、開路中のプロテクタの極間電圧 ΔV はほぼ $\frac{I}{2}$ による変圧器のインピーダンス降下となり、 I より変圧器のインピーダンス角 $\tan^{-1} X_T / R_T$ だけ進み位相となる。この ΔV と同相電流 i がネットワークCTの三次巻線に流れ、ネットワーク主リレーに二次電流を供給する(図8)。

ネットワーク主リレーの投入側接点の位相特性は、リレー単体では最大感度位相角が進み3度の図9のAなる特性となるが、開路中のプロテクタの極間電圧で応動するときの負荷電流 I と力率角の関係で描くと、 i は I より $\tan^{-1} X_T / R_T$ だけ進むので図9Aの特性を $\tan^{-1} X_T / R_T$ だけ遅れ方向に回転させた図9Bの特性となる。

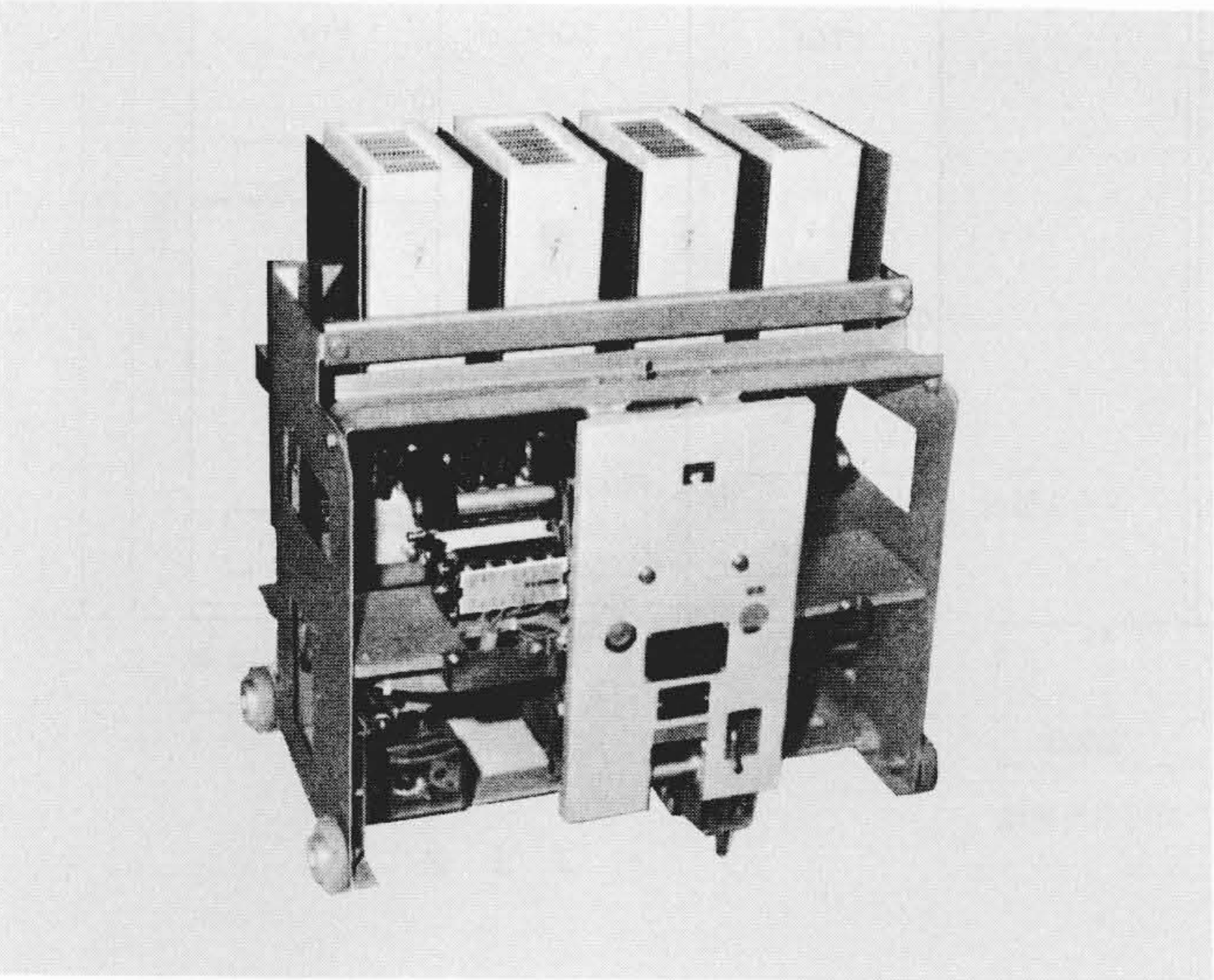


図6 500V2,000A 4極気中しゃ断器 プロテクタしゃ断器にマッチしたしゃ断性能と、耐短時間電流性能を持っている。

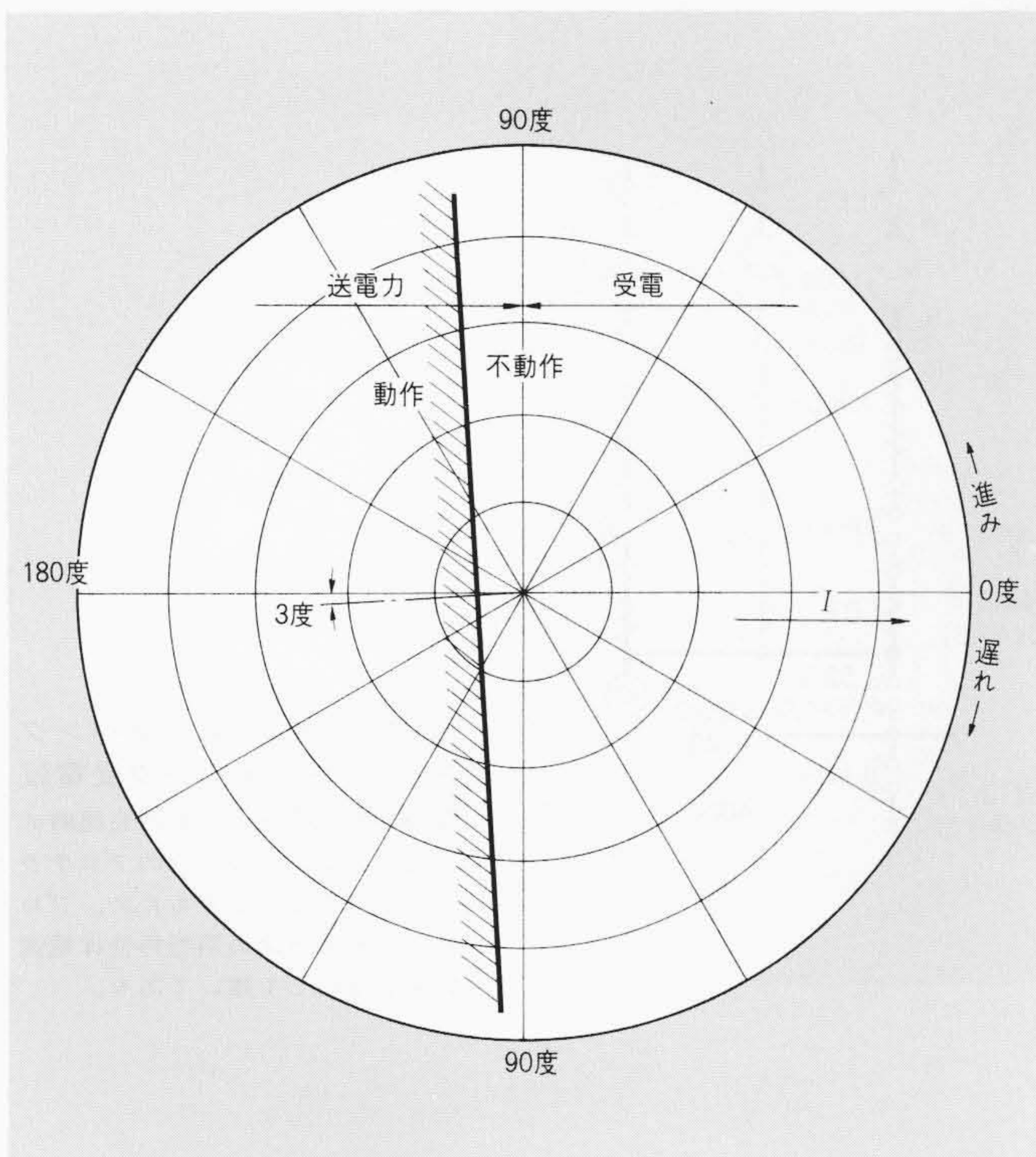


図7 ネットワーク主リレー引はずし特性 特別高圧配電線の地絡事故時のケーブル充電電流に対して、動作感度が低下しないよう最大感度位相角を進み3度としてある。

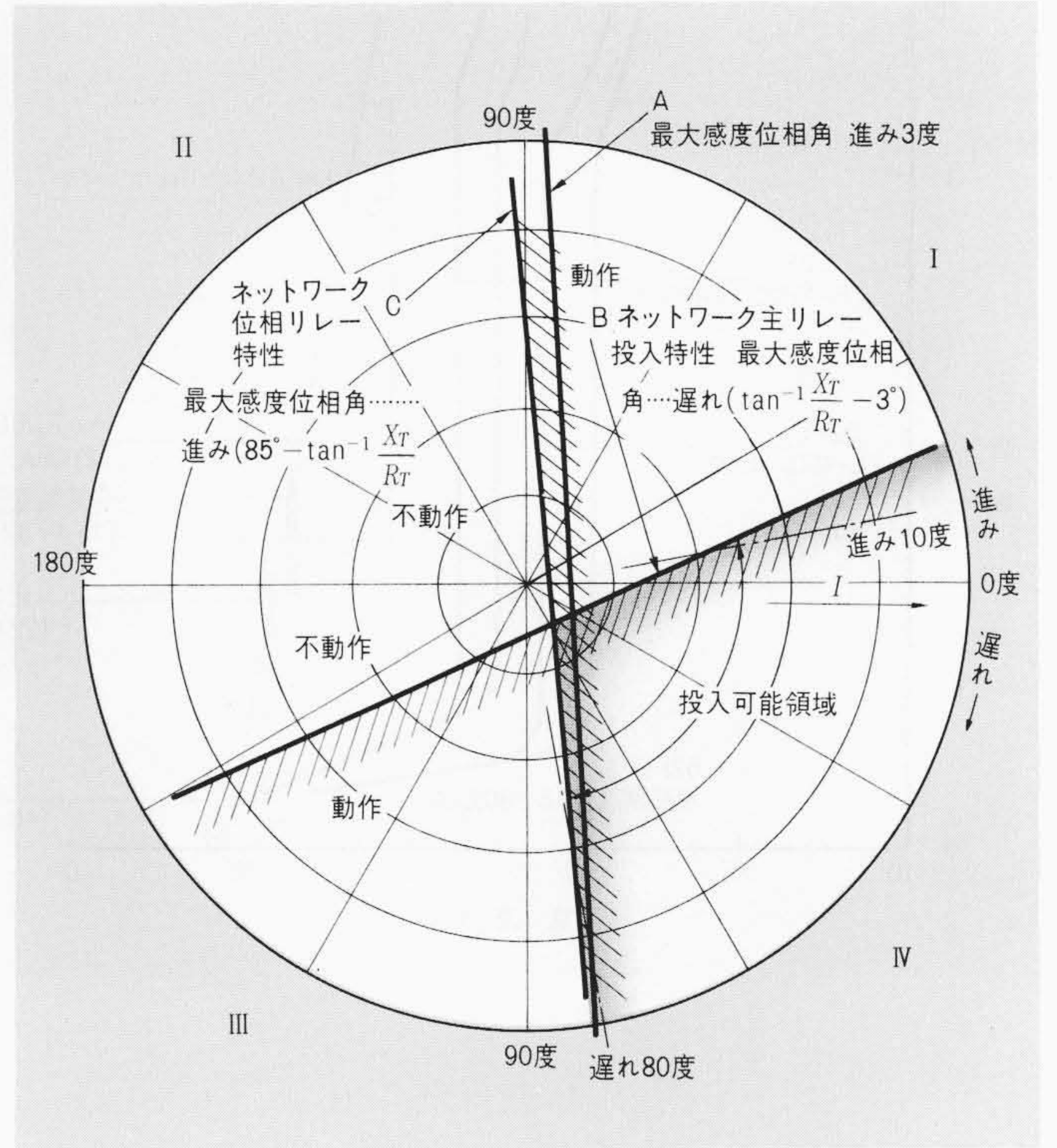


図9 差電圧投入特性説明図 ネットワーク主リレー投入特性Bとネットワーク位相リレー特性CのAND条件で投入されるので、スマッシング部分が投入可能領域となる。

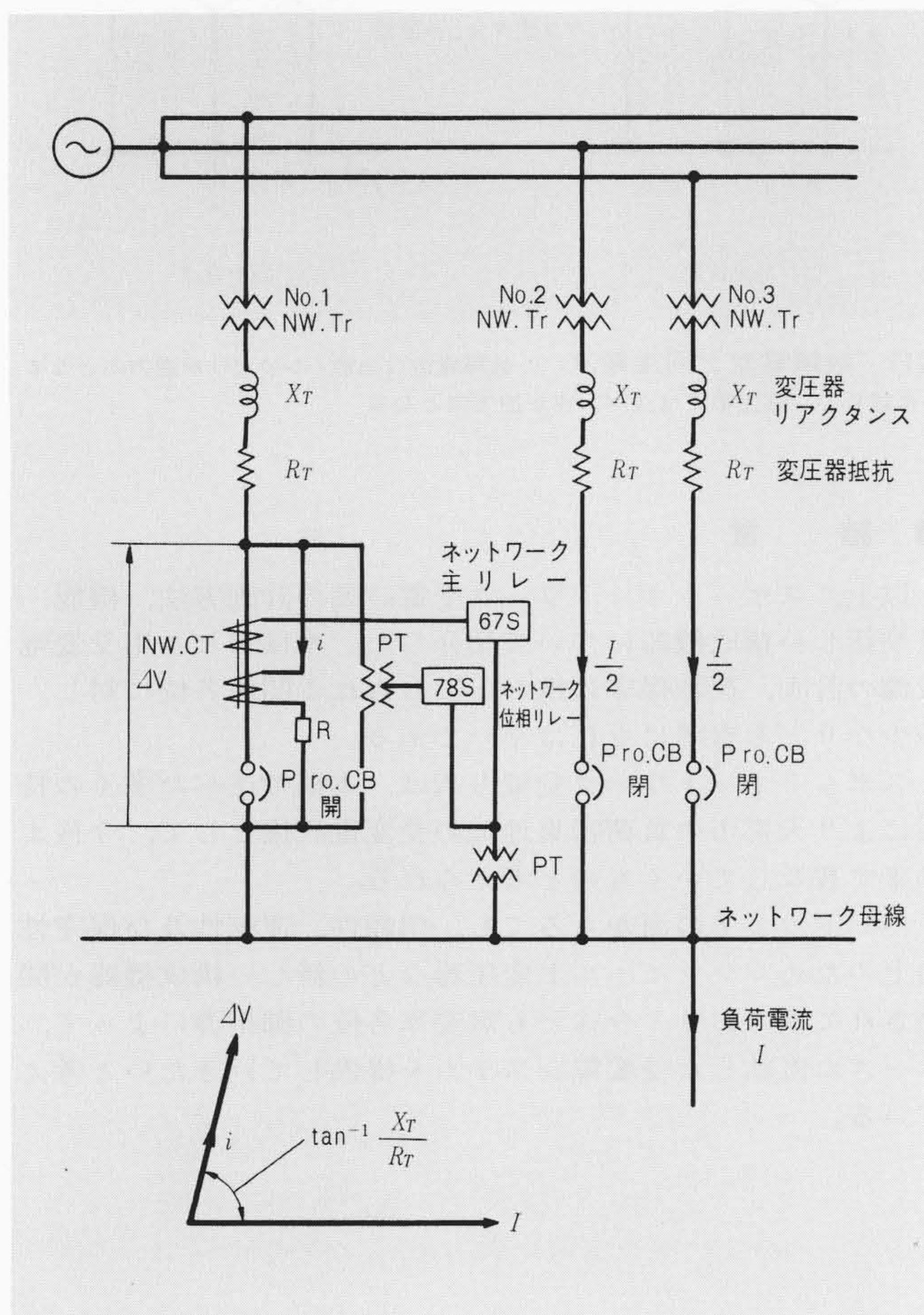


図8 差電圧投入説明図 負荷電流Iに比例して発生する開路中のプロテクタ極間電圧ΔVにより、ネットワーク主リレー位相リレーを動作させる。

ここでIがI、IV象限にあるときが受電方向であり、III象限でネットワーク主リレーが動作できるということは、逆電力状態でも投入側接点が閉路することになり、投入後直ちに逆電力しゃ断が行なわれて、プロテクタは投入と引外しを繰り返すことになる。このような不具合を防止し、負荷力率角が進み10度から遅れ80度までの適正な状態で投入操作を行なうべく、ネットワーク母線電圧に対するΔVの位相角で応動するネットワーク位相リレー(図9のCの特性)を設けて主リレーとのAND条件で投入操作を行なう。

5.3 無電圧投入機能

全回線が停電している状態(ネットワーク母線が無電圧のとき)でいずれか1回線でも復電すると、その回線のネットワークプロテクタは自動的に投入される。

6 保護協調

図10に保護協調カーブの一例(1,000kVA×3バンク)を示す。以下、本例に基づいて説明する。

6.1 特別高圧配電線短絡事故

A点事故時、故障回線のプロテクタヒューズを通過する電流は表1にも示すように16.4~17.8kAで、ヒューズの溶断時間は1~2秒となりネットワーク主リレーによるプロテクタしゃ断器の開路動作(0.7秒)が先行する。

6.2 変圧器とプロテクタしゃ断器間の短絡事故

B1点の場合、故障回線と健全回線のプロテクタヒューズに流れる電流に2:1以上の差があり、ヒューズによる選択しゃ断が可能である。B2点での短絡事故では、各プロテクタヒューズに流れる電流がほぼ等しいため、ヒューズによる選択しゃ断は不可能である。このため、プロテクタ装置の形態に一体形を採用するなど、プロテクタしゃ断器とヒューズ間を極力短くしたり、絶縁を強化している。

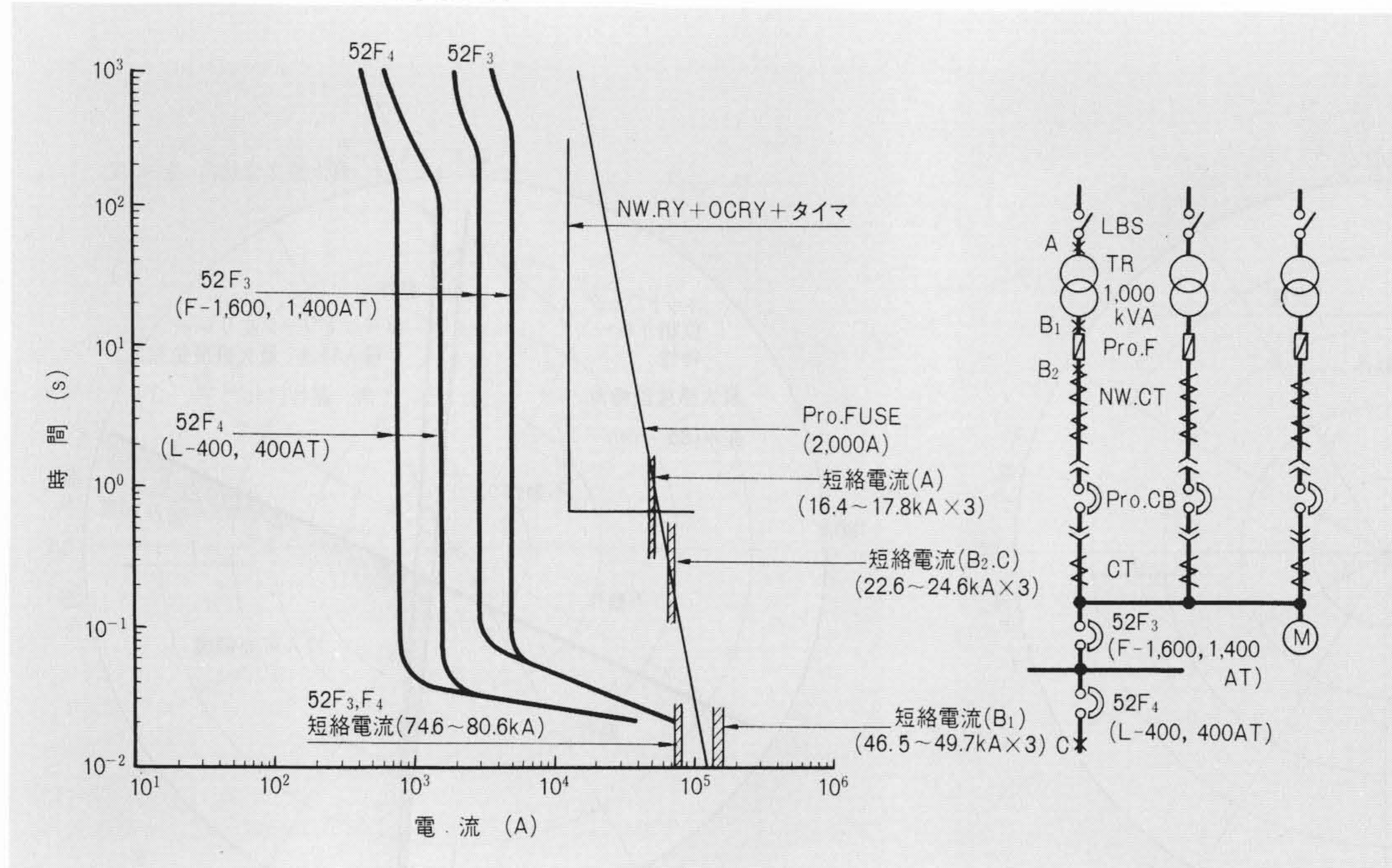


図10 1,000kVA×3バンク
スポットネットワーク受電設
備保護協調図 C点短絡時の
短絡電流は、各バンクのプロテ
クタヒューズに分流するため、プロ
テクタヒューズの溶断特性は電流
値を3倍にして描いてある。

6.3 低圧配電線での短絡事故

低圧配電線での短絡事故に対し、選択しゃ断が可能なように配線しゃ断器、ティクオフヒューズが選定される。プロテクタヒューズはバックアップしゃ断用として位置づけられるが、低圧側の事故で電力会社のしゃ断器が開路しないようにプロテクタヒューズの溶断時間は0.5秒以下に設計されている。

7 スポットネットワーク受電方式の配慮すべき問題

7.1 非常用自家発電回路との接続方法

非常用自家発電機からの供給方法には、

- (1) ネットワーク母線に接続する方法
- (2) 二重母線にて切り換える方法

があるが、スポットネットワーク受電設備においては、

- (1) ネットワーク母線に直接接続する方法ではインターロックが複雑となること。
- (2) 全停電でなく、1バンクだけ残ったときのバックアップ運転も考慮する必要があること。

などの理由により図2に示すように二重母線で切り換える方法が多く採用される。

7.2 エレベーター回生電力による逆電力しゃ断

エレベーターが全負荷下降運転、あるいは無負荷上昇運転を行なう場合、特に減速歯車をもたないギヤレスエレベーターでは全負荷上昇に要する出力とはほぼ同じ程度の大きな電力を電源側に送り出す¹⁾。この回生電力は、昼間の負荷が大きいときには受電電力に相殺されて受電電力がやや少なくなる現象で済むが、夜間の軽負荷時にはネットワーク母線からネットワーク変圧器を通して買電へ送電する現象となって表われ(図11)、全バンクのネットワーク主リレーが逆電力を検出して全停電となってしまう可能性がある。

このため、ネットワーク主リレーの逆電力動作時、しゃ断までの動作に時限を設け、もし全バンクとも逆電力を検出しているときは、プロテクタしゃ断器の引はずしをロックするよう考慮されている。ただし、特別高圧側短絡事故のように過電流を伴う逆電力のときは、上記に関係なく瞬時にプロテクタしゃ断器を開路し、故障区分の早期除去を図っている。

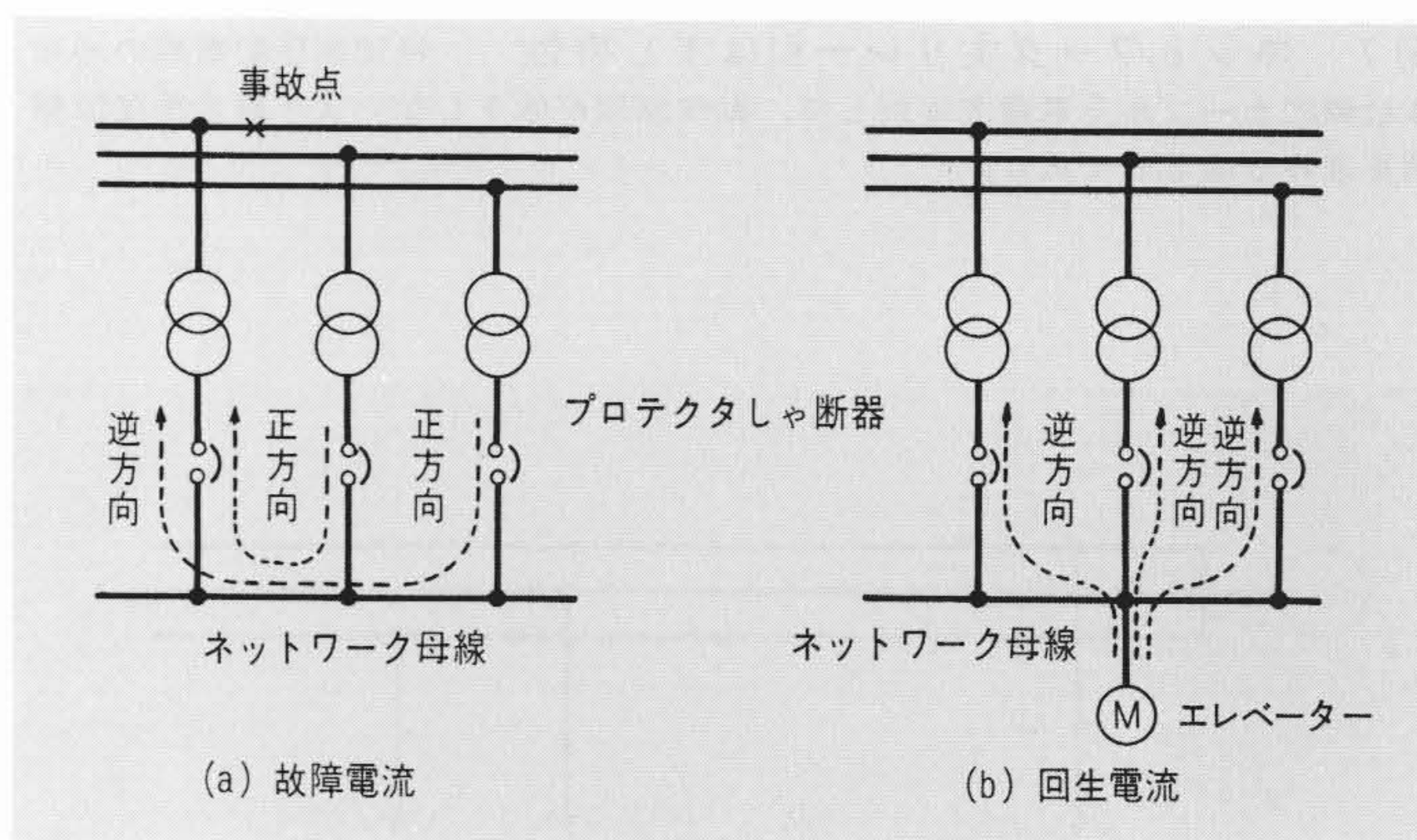


図11 故障電流と回生電流 故障電流は当該バンクだけが逆方向となるのに対して、回生電流は全バンクが逆方向となる。

8 結 言

以上、スポットネットワーク受電設備の計画方法、機能、及び新しい構成機器について紹介した。本稿がビル用受変電設備の計画、運転保守に携わっておられる関係各位に対し、多少なりとも参考になれば幸いである。

スポットネットワーク受電方式は、本稿で述べた多くの特長により大都市の負荷密集地域の受変電設備として、今後ますます普及していくものと考えられる。

ハードウェアの面からみても、信頼性、運転性及び保守性向上のためレジモールド変圧器などの新しい構成機器が開発されてきており、今後とも需要家各位の御指導によって、ニーズに直結した受変電システムを提供していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 長谷川：エレベーターのための電気設備，電設工業，28(昭51-1)