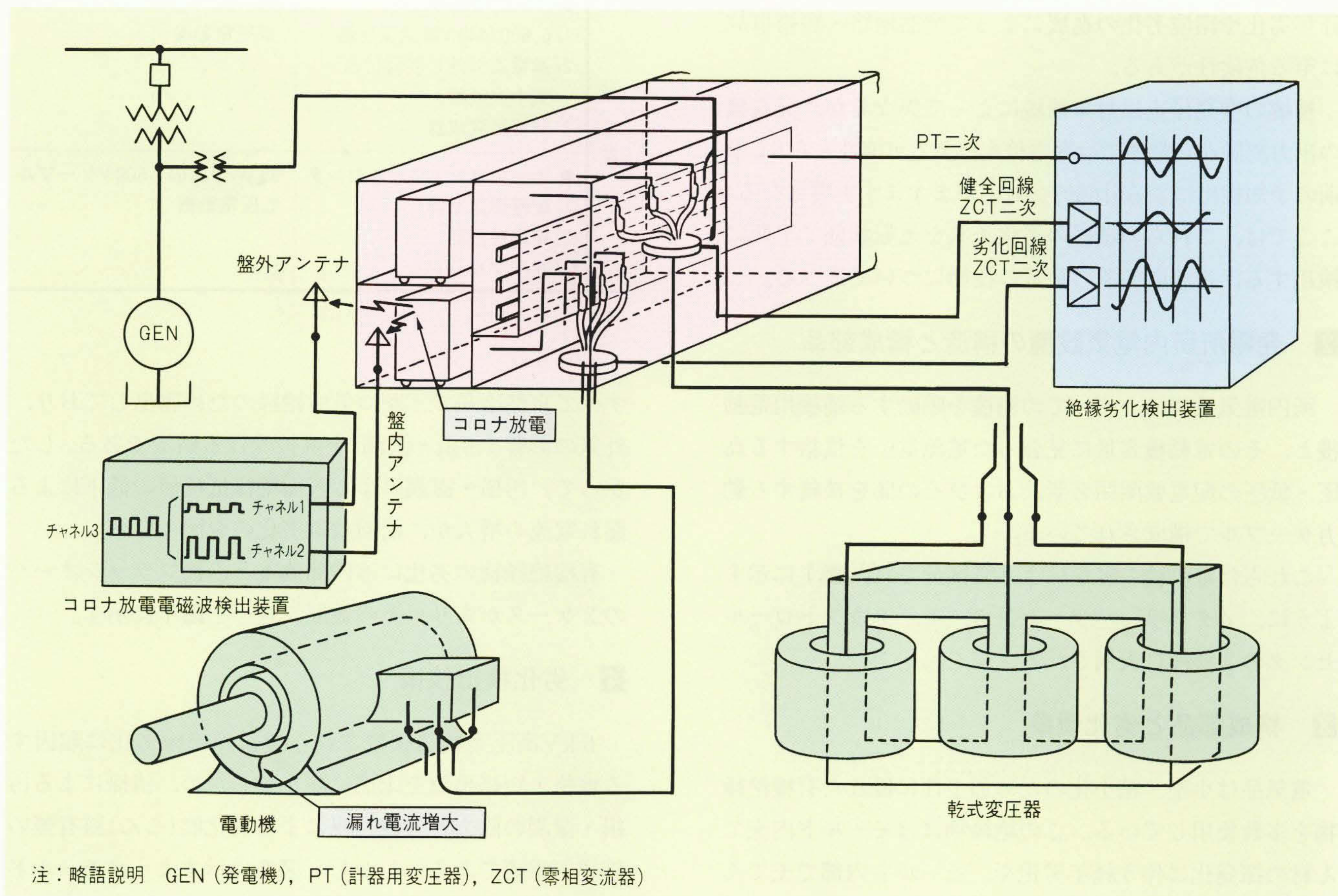


所内電気設備の予防保全技術

— 絶縁劣化検出技術 —

Preventive Maintenance Technology of Auxiliary
— Power Equipment for Thermal Power Plants —

阿部寛延* Hironobu Abe
猿田明雄** Haruo Saruta
藤田康信** Yasunobu Fujita
進藤勝二*** Katsuji Shindō



注：略語説明 GEN (発電機), PT (計器用変圧器), ZCT (零相変流器)

活線診断装置 この装置は、運転状態で有機絶縁物でのコロナ放電を盤内外のアンテナによる電磁波検出や、高感度零相変流器による漏れ電流を確実に検出し、劣化を初期の段階で早期に検出する。

発電所所内電気設備用主回路機器に使用する絶縁物は、小型・縮小化および作業性から有機絶縁物で構成しており、冷却と空気絶縁のため気中に露出して使用されている。

これら有機絶縁物の劣化には、経年化に伴い絶縁物内部に発生する微小ボイドでのコロナ放電劣化と、絶縁物表面の対地漏れ電流増大による沿面放電劣化がある。沿面放電劣化は設置環境および使用条

件に大きく影響を受け、特に汚損量が大きく、かつ湿潤が加わると、これが起因となり地絡から三相短絡へ進展して、補機停止からユニット停止に至る危険性がある。

これらの劣化現象を初期の段階で検出し、計画的な予防保全を推進するため、有機絶縁物の劣化初期の現象を運転状態で検出する活線診断装置を開発している。

* 東北電力株式会社 ** 日立製作所 国分工場 *** 日立製作所 日立研究所

1 はじめに

発電所所内電気設備は発電プラントのすべての補機を起動・停止する配電盤開閉装置と、補機を駆動する高圧、低圧の電動機、高圧から低圧へ降圧する乾式動力変圧器、およびこれらを接続する動力ケーブルで構成されている。

これらの機器の絶縁はすべて気中絶縁方式であるため、絶縁耐力は設置環境や使用条件に大きく影響され、経年劣化や環境劣化の進展によって突然地絡・短絡事故に至る危険性がある。

補機の突発停止は対象補機によって異なるが、発電機の出力制限から最悪では発電停止に至る可能性もあり、事前の予知検出による計画的な対応がますます重要となる。ここでは、これらの機器の劣化予兆を運転状態で早期に検出する活線診断装置の最近の技術について述べる。

2 発電所所内電気設備の構造と構成部品

所内電気設備は、すべての補機を駆動する補機用電動機と、その電動機容量に見合った電源電圧を供給する高圧・低圧の配電盤開閉装置、およびその間を接続する動力ケーブルで構成されている。

これらは電動機の容量によって区分され、表1に示すように、メタクラ、パワーセンタ、モータコントロールセンタの3機種に大別される。

3 構成部品と劣化現象

電気品は小型・縮小化のため加工性に優れた有機絶縁物を多数使用している。この絶縁物にはモールド内充てん材の揮発化に伴う経年劣化や、モールド内部で充てん材と導体材料との化学反応に起因するボイド発生によるコロナ放電劣化がある。

また有機絶縁物の対地絶縁は、モールド材の絶縁性能および表面の絶縁抵抗に依存しているが、所内電気品は

表1 発電所所内電気設備 補機容量により、3機種に大別されて各種機器で構成される。

	配電盤開閉装置	電動機	動力ケーブル
高圧	● メタクラ (1) 磁気遮断器, 真空遮断器 (2) 計器用変成器 (3) 支持がいし, 断路部 (4) 保護継電器	250 kW以上の 高圧電動機	6 kVケーブル
低圧	● パワーセンタ (1) 6,600/440 V乾式変圧器 (2) 過電流引外し装置付き 気中遮断器 (3) 計器用変成器	90~250 kW 低圧電動機	600 Vケーブル
	● モータコントロールセンタ (1) 配線用遮断器 (2) 電磁接触器 (3) サーマルリレー	90 kW未満の 低圧電動機	600 Vケーブル

すべて自然冷却で、かつ気中絶縁のため露出しており、外気の影響(汚損・湿潤)を直接受ける構造である。したがって、汚損・湿潤による表面絶縁抵抗値の低下による漏れ電流の増大が、沿面放電劣化の要因となる。

有機絶縁物の劣化には内部放電と沿面フラッシュオーバーの2ケースがあり、その進展フローを図1に示す。

4 劣化検出技術

6 kV高圧系統に接続される機器の絶縁劣化に起因する地絡・短絡事故を未然に防止するため、清掃による汚損・湿潤の除去と外観目視による劣化痕(こん)跡有無の確認が重要である。しかし、図2に示すようにモールドなど有機絶縁物の絶縁性能低下の初期に生じるモールド内部ボイドでのコロナ放電や、モールド表面の漏れ電流増大によるシンチレーション(微小電流放電)を劣化初期の段階で検出する活線診断装置がさらに重要である。

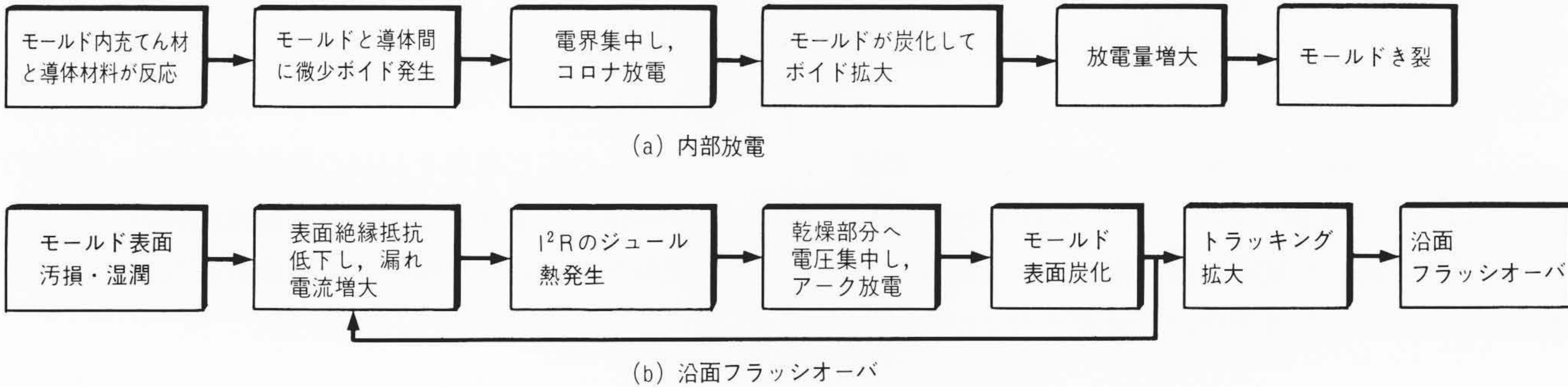


図1 有機物劣化進展フロー 有機物の劣化には内部放電と沿面フラッシュオーバーの2ケースがある。

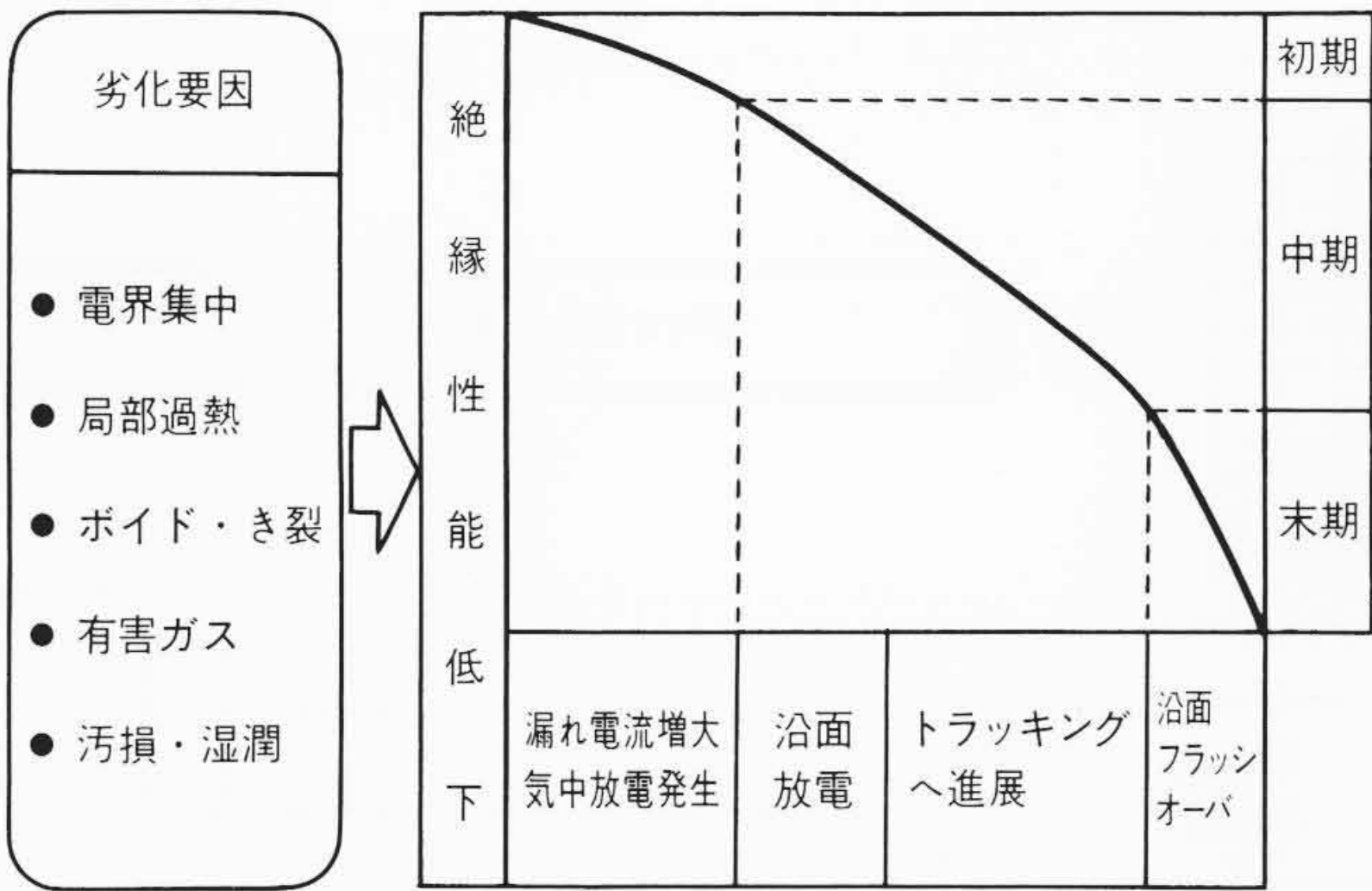


図2 絶縁性能低下と劣化現象 従来は絶縁低下末期状態で検出していた。

運転状態で配電盤収納機器の劣化を検出するコロナ放電電磁波検出装置と、その負荷側に接続された高圧機器の絶縁劣化検出装置について以下に述べる。

4.1 停止時の測定

毎定期検査時に表2に示す測定を実施し、そのトレンドを管理することによって劣化状況の推移がわかる。

4.2 活線診断技術

4.2.1 コロナ放電電磁波検出装置

有機絶縁物の劣化検出には絶縁物表面の絶縁耐力低下に伴う沿面気中放電と、微小ボイド発生による絶縁物内部でのコロナ放電のどちらにも放電電磁波が発生するので、これを検出することによって劣化初期の段階からの検出が可能である。この検出では空中伝搬ノイズとの弁別が重要であるが、劣化初期の段階では気中放電周波数が10～100 MHzで一部放送周波数と重複している。さらにトラッキングへ進展すると400 MHz以上となり、ポケットベルなどの無線周波数に合致する。

表2 停止時の点検項目 部分放電試験が有効であるが、暗騒音など試験条件整備が必要である。

No.	点検項目	内 容	備 考
1	外観点検	(1) コロナ痕(こん)跡の有無 (2) 絶縁抵抗	目視 DC 1,000 Vメガー
2	部分放電試験	● 部分放電電荷量測定 ① CSV(コロナ開始電圧) ② CEV(コロナ消滅電圧)	ERAⅢ型コロナ測定器 >1.3×常規対地電圧 >1.1×常規対地電圧
3	誘電正接(tanδ)	● 絶縁耐力低下の有無	シーリングブリッジ法 <3%

そのため外被が接地金属で覆われている閉鎖配電盤の特長を生かし、電磁シールド効果による盤内・外部でのレベル差により、盤内部で発生した電磁波を確実に検出するコロナ放電電磁波検出装置を開発し、実用化の見通しを得た。

(1) 検出目標

盤外部からのノイズを弁別し、盤内収納機器の微小部分放電を確実に検出する。

- (a) 10～1,000 MHzの周波数帯域で検出可能である。
- (b) 放電電荷量300 pcレベルの微小放電も検出可能である。
- (c) 盤内・外の検出レベル差が3 dB以上である。
- (d) 盤内・外同時に1秒間のスキャンタイムでピーク値を比較する。

(2) 検出量アンテナ

劣化初期の微小部分放電からトラッキング時のアーク放電までの周波数帯域で最適検出感度を持ち、また小型・軽量でオンラインでも、オフラインでも確実に検出でき、かつ既設盤へも取付容易なインダクティブアンテナ(外形寸法φ12×100 mm)を採用した。

(3) 外部ノイズとの弁別

外部ノイズとの弁別を確実にを行うため電磁シールド効果の確認結果、300 MHz以上の周波数帯域で図3に示すように盤内・外のアンテナで10 dB以上の差があることが判明した。これを利用し盤内部での放電現象と特定することが可能である。

(4) 放電電磁波検出装置の構成

放電電磁波検出装置は図4に示すように盤内と外部に別々にインダクティブアンテナを設置し、それぞれの検出量をCH 1, 2で入力後増幅する2チャンネルの増幅器

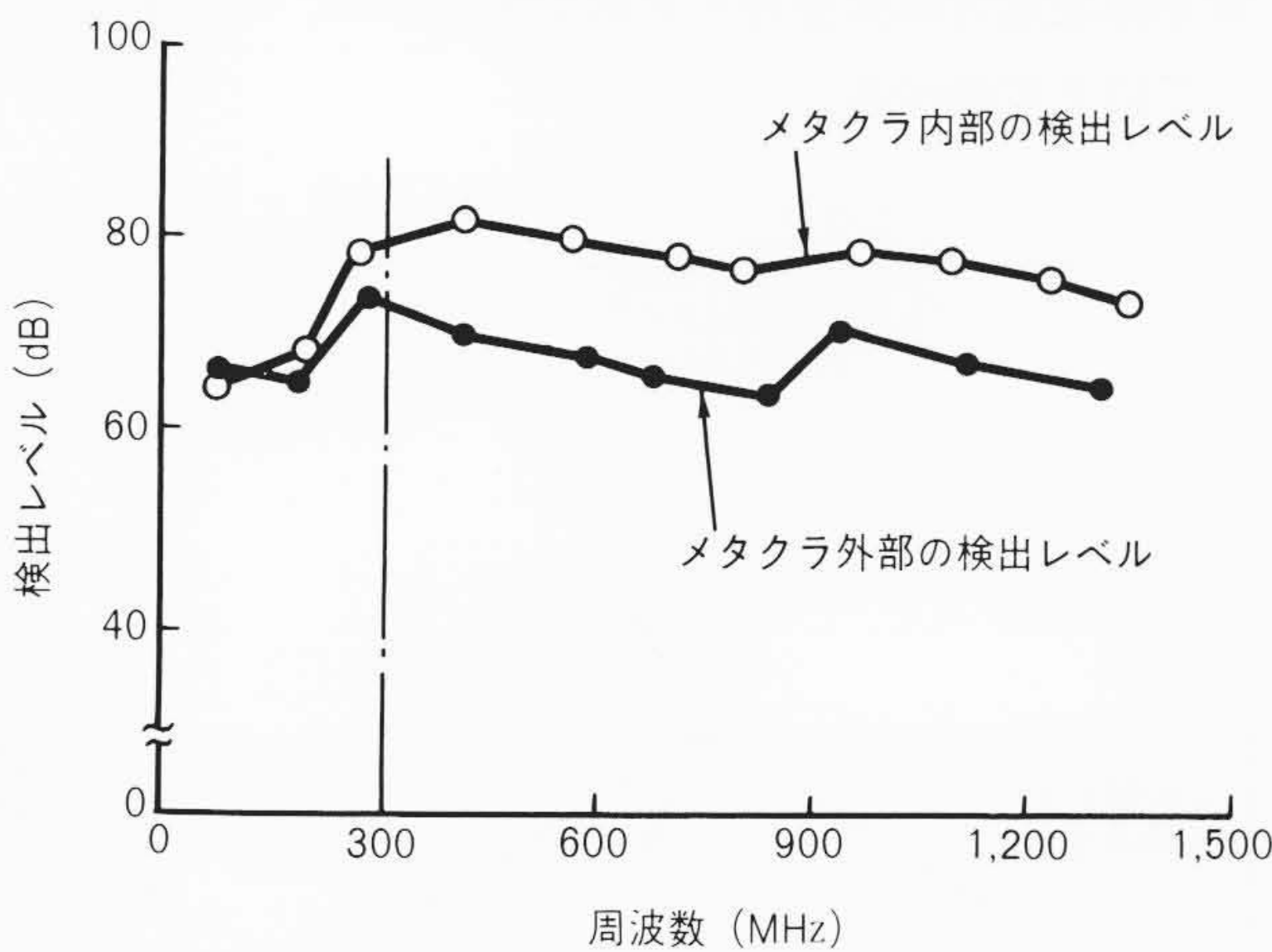
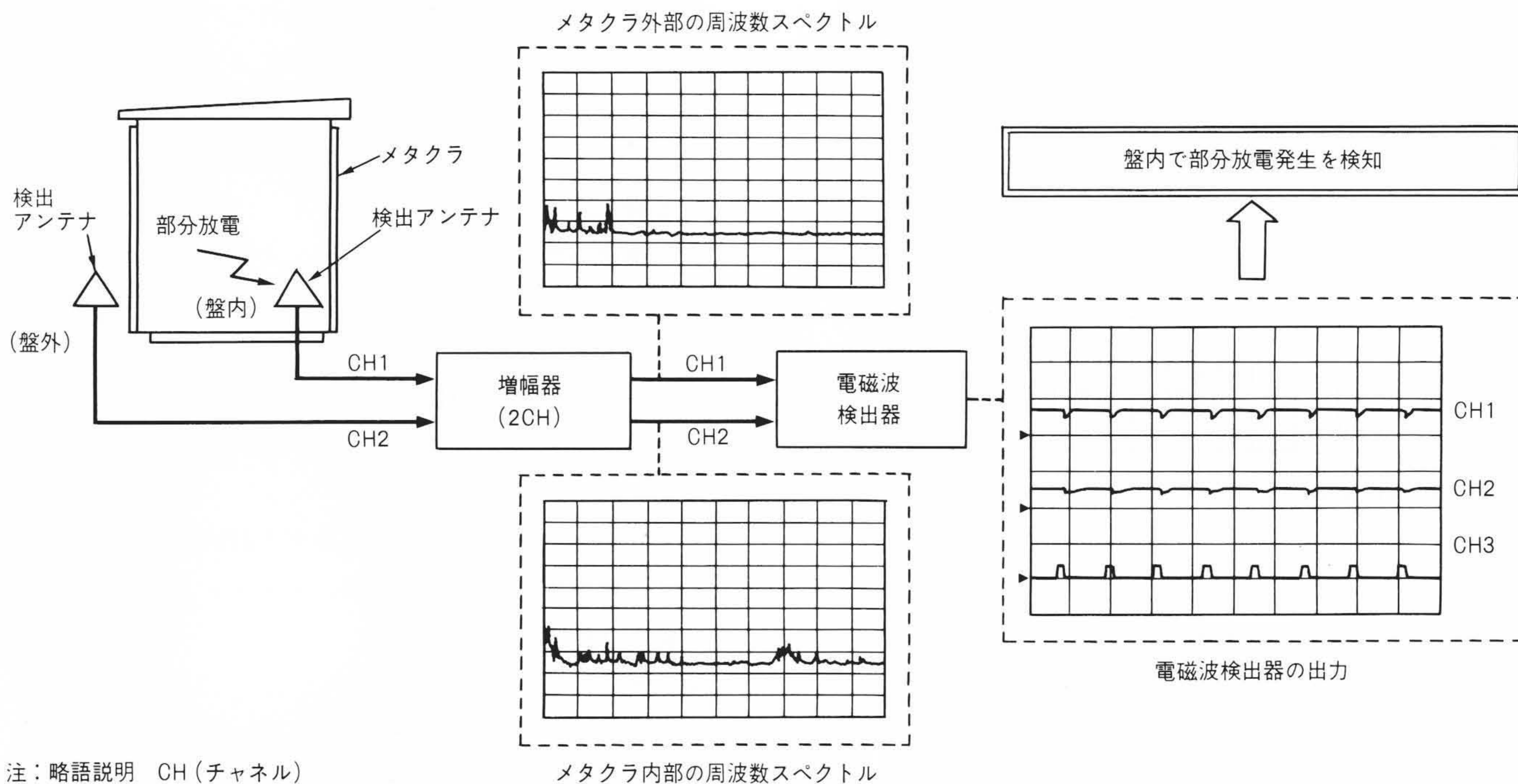


図3 金属外被の電磁シールド効果 接地金属製外被構造により、検出レベルに差が出る。



注：略語説明 CH (チャンネル)

図4 放電電磁波の検出原理 同時に盤内・外の同一周波数でレベル差を測定する。

と、同時にスキャンし1秒間の最大値をピークホールド後、演算出力する3チャンネルの電磁波検出器で構成されている。その演算判定は、

$$(\text{盤内のCH1}) - (\text{盤外のCH2}) = (\text{差CH3})$$

その差分CH3のレベル差が正3dB以上のとき内部放電と判定する。

4.2.2 絶縁劣化検出装置

有機絶縁物表面の絶縁耐力低下によって増大する表面漏れ電流の検出と、高圧ケーブルのように自復性のある絶縁破壊時のコロナパルス放電電流の検出を確実にを行い、それぞれ劣化回線と劣化相を判別する高感度検出装置を東北電力株式会社と共同で開発した。この装置について以下に述べる。

(1) 微地絡検出装置

(a) 検出目標

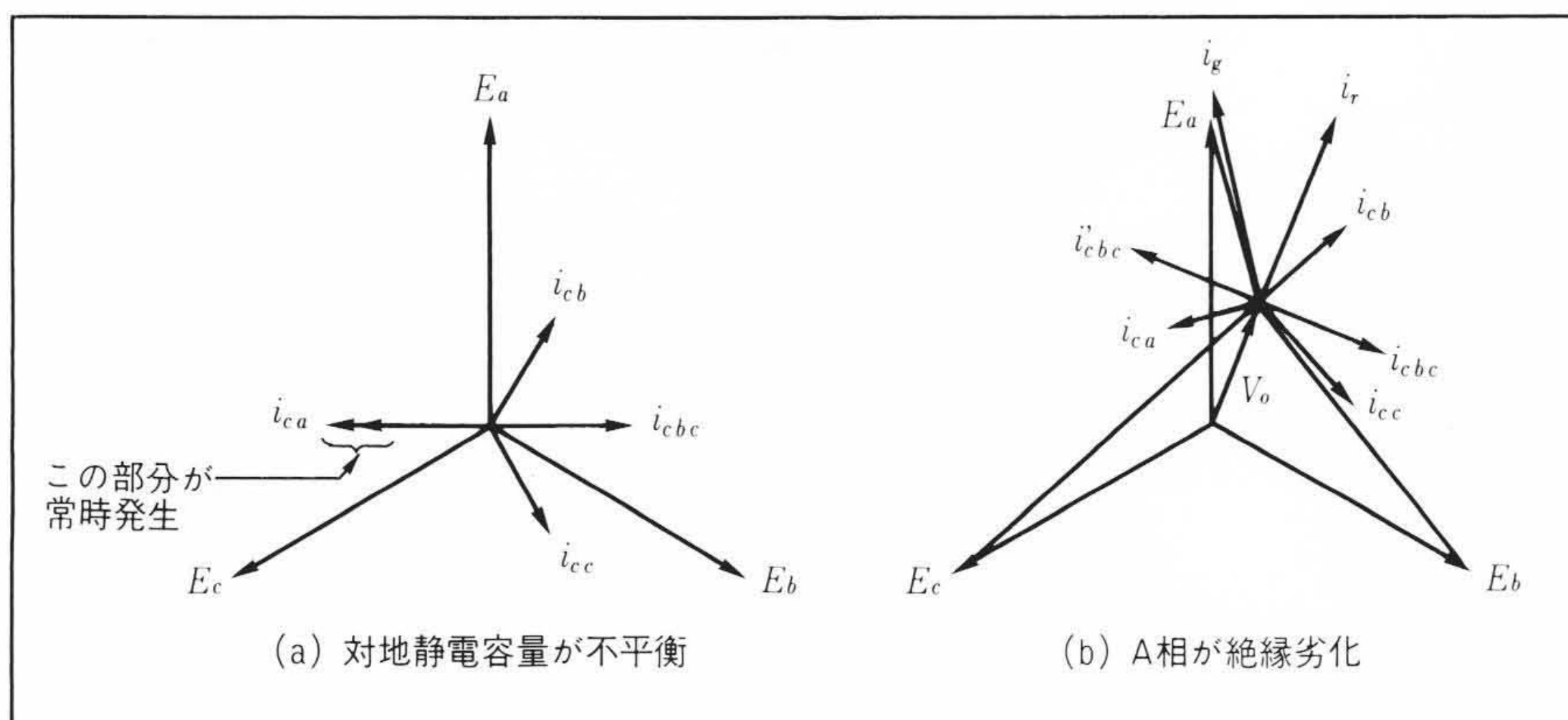
6kV系統に接続された機器の絶縁物表面の漏れ電流を運転状態で1MΩ相当(3.8mA)の微小電流検出を目標とする。

(b) 高圧機器の絶縁破壊電流

- (i) 6kV電動機固定子巻線(老朽品)……10~20mA at 11~22kV
- (ii) 6kV電動機固定子巻線(新品)………20mA以上 at 34kV

(c) 検出原理

通常は対地静電容量の不均衡があり、相電圧の約90度進み位相の電流が流れている〔図5(a)〕。A相の絶縁



注：略語説明

E_a (A相相電圧)、 i_{cb} (B相対地充電電流)、 i_{cbc} (他回線からの回り込み対地充電電流)、 i_{ca} (A相対地充電電流)、 i_{cbc} (合成対地充電電流)、 i_r (有効地絡電流)、 E_c (C相相電圧)、 E_b (B相相電圧)、 V_0 (零相電圧)、 i_{cc} (C相対地充電電流)

図5 相電圧と零相電流のベクトル位相 劣化時に他回線の対地充電電流が回り込み零相電流ベクトルが変わる。

物表面が劣化すると、劣化回線には零相電圧 V_0 と同位相の電流 i_r と、健全回線からの電流 i'_{cbc} が流れ込み、その合成電流が i_g として流れる〔同図(b)〕。したがって、常時発生している対地不平衡電流 i_{ca} をあらかじめ測定し、登録して劣化電流 i_g のベクトル演算から減算することにより、全回線とも不平衡電流零の状態から劣化電流を抽出し高感度に電流絶対値と基準相電圧との位相比較を行い、劣化回線と劣化相を判定する。

なお、相電圧は劣化時の変動を考慮し、線間電圧から各相の相電圧を基準相電圧として制定している。

(d) 動作原理

常時発生する零相電流を零の状態に校正後、絶縁抵抗値 $1\text{ M}\Omega$ 相当 ($3.8\text{ mA at } 6\text{ kV}$) の電流値を超過し、かつ電流位相が基準相電圧の $\pm 30^\circ$ 内にあって、さらに他回線の電流位相と1回線だけ異なることを10回線同時に演算することにより、劣化回線と劣化相を特定する。動作原理を図6に示す。

(2) 間欠弧光地絡検出装置

(a) 検出目標

6 kVケーブルのように自復性のある有機絶縁物は、

水トリーで絶縁耐力が低下しコロナ放電を生ずるが、放電電流によって水トリー一部が乾燥し、絶縁耐力が回復して間欠弧光放電を繰り返す。このワンショットのパルス放電電流を確実に検出することを目標とする。

(b) 高圧ケーブルの絶縁破壊電流

(i) 放電電流のピーク値……50～300Ap

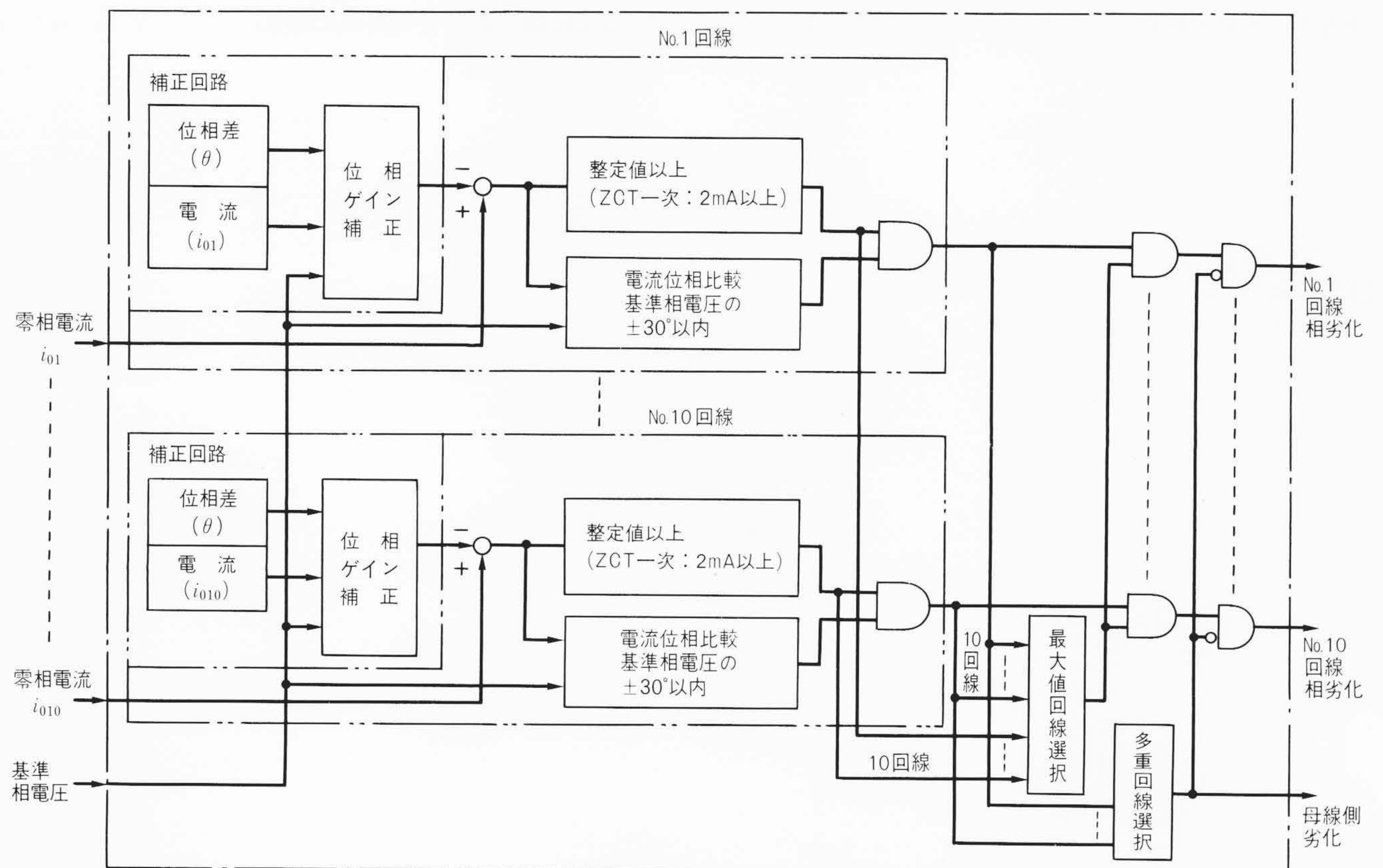
(ii) 放電時間……… $\frac{1}{2}$ サイクル以下

(c) 検出原理

ケーブルなどの対地充電電荷が導体のリアクタンス Ll を介して水トリー一部で強制放電させられる。放電電流値は充電電荷部から強制放電部までの距離、すなわち線路インピーダンスで決まり、第一波波高値は数十～数百アンペアのオーダーとなる。

(d) 動作原理

劣化回線には健全回線の対地充電容量も含めて全回線分が流れ込み、最も大きな値を示す。かつこのとき発生する零相電圧 V_0 が、地絡相電圧と同一位相であることを確認後、劣化回線と劣化相を特定する。動作原理を図7に示す。



注：略語説明 ZCT (零相変流器)

図6 微地絡検出装置の動作原理 電気角30度サンプリングで10回線同時処理して判定する。

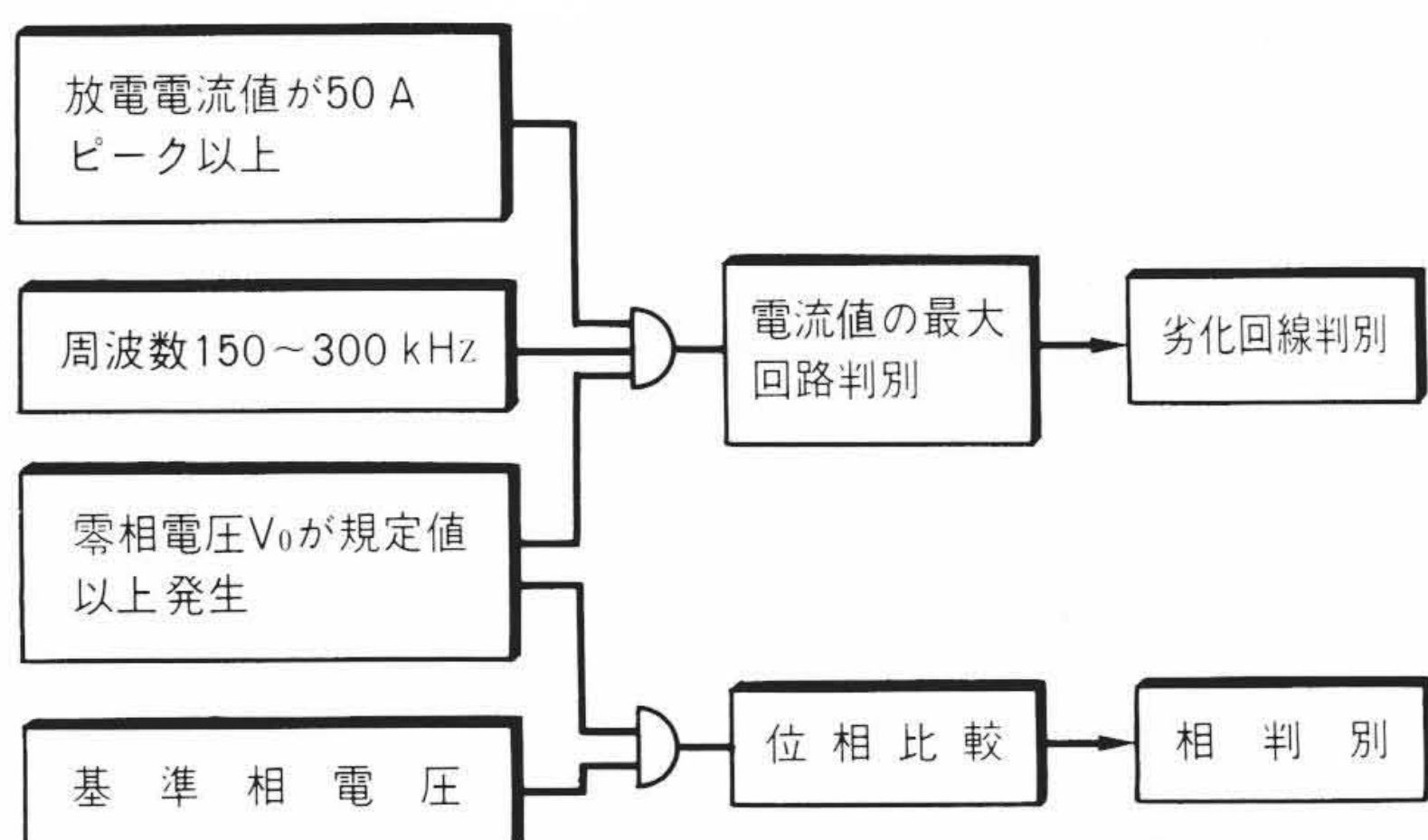


図7 間欠弧光放電検出装置の動作原理 ワンショットの放電電流をピークホールドして動作判定する。

5 設備改善

発電所所内電気設備は、遮断器を主に各種機器を収納した配電盤開閉装置と、電動機、乾式変圧器、動力ケーブルなどの電気品で構成されている。特に配電盤開閉装置は各種主回路機器や制御・保護装置などを多数内蔵しており、DSS(Daily Start-Stop：毎日起動・停止)運用による多頻度開閉などの使用条件からくる摩耗劣化と、設置環境からくる有機絶縁物表面劣化による絶縁耐力低下など、それぞれ別々の要因からの劣化進展によって機

能の低下を来す。

したがって、これら劣化を活線診断装置で早期発見して計画停止をとり、劣化部品の交換などを行う必要がある。しかし、多数の機器で構成した配電盤開閉装置は、個々の機器を個別に更新して信頼性の維持を図らねばならない。その手数と信頼性を考えると必ずしも効果的な保全とは言えず、今後のプラント本体の運用を考慮し保守性、経済性を評価して、プラント運転寿命の中間時点で配電盤開閉装置の一括更新というような最も効果的な投資により、運転信頼性の維持向上を図ることが最善の施策と言える。

6 おわりに

以上述べたように、日立製作所は有機絶縁物を用いた気中絶縁機器の活線状態での絶縁劣化検出装置について、突発事故の未然防止の観点から開発を進めてきた。今後とも電力会社をはじめ関係方面の指導を得ながら、さらに信頼性の高い予防保全技術の開発を進めていく。

終わりに、今回微地絡検出装置の技術開発では東北電力株式会社殿から多大のご指導とご協力をいただいた。ここに深く感謝する次第である。