

# 目 次

## 電力用変圧器改修ガイドライン ..... 電力用変圧器改修ガイドライン 専 門 委 員 会

委員会組織 .....	( 1 )
本報告書における用語の定義・説明 など .....	( 6 )
<b>第Ⅰ編 総 説</b> .....	( 8 )
第 1 章 委員会設立の経緯 .....	( 8 )
第 2 章 研究の経過 .....	( 8 )
2-1 総説 .....	( 9 )
2-2 油中ガス分析による保守管理 .....	( 9 )
2-3 流動帯電に関する保守管理 .....	( 9 )
2-4 事故障害発生時の影響評価 .....	( 9 )
2-5 変圧器改修の考え方 .....	( 9 )
第 3 章 研究の概要 .....	( 9 )
3-1 第Ⅱ編 油中ガス分析による保守管理総論 .....	( 9 )
3-1-1 油中ガス分析による保守管理 .....	( 9 )
3-1-2 油中ガス分析方法 .....	( 10 )
3-1-3 油中ガス分析による保守管理基準 .....	( 10 )
3-1-4 今後の課題 .....	( 12 )
3-2 第Ⅲ編 流動帯電に関する保守管理総論 .....	( 13 )
3-2-1 流動帯電に関する保守実態調査 .....	( 13 )
3-2-2 経年による流動帯電現象発生メカニズム .....	( 13 )
3-2-3 流動帯電診断技術 .....	( 14 )
3-2-4 実フィールド変圧器の高帯電度化調査 .....	( 14 )
3-2-5 流動帯電抑制策 .....	( 15 )
3-2-6 流動帯電に関する保守管理基準 .....	( 15 )
3-2-7 今後の課題 .....	( 15 )
3-3 第Ⅳ編 事故障害発生時の影響評価総論 .....	( 17 )
3-3-1 変圧器事故発生確率の検討 .....	( 17 )
3-3-2 変圧器事故が系統に及ぼす影響評価 .....	( 17 )
3-3-3 今後の課題 .....	( 17 )
3-4 第Ⅴ編 変圧器改修の考え方総論 .....	( 17 )
3-4-1 変圧器改修の考え方 .....	( 17 )
3-4-2 継続使用可否判断に資する評価項目 .....	( 18 )
3-4-3 改修の優先順位付与に資する項目 .....	( 18 )
3-4-4 改修計画策定時の配慮事項 .....	( 19 )
<b>第Ⅱ編 油中ガス分析による保守管理</b> .....	( 20 )
第 1 章 総論 .....	( 20 )
1-1 油中ガス分析の経緯 .....	( 20 )
1-2 研究概要 .....	( 20 )
1-2-1 主な調査、検討項目 .....	( 20 )
1-2-2 適用に際しての留意事項 .....	( 20 )
1-2-3 本報告書と電協研第 54 巻第 5 号 ( その 1 ) における油中ガス分析による保守管理の対比 .....	( 20 )
第 2 章 油中ガス分析方法 .....	( 21 )
2-1 油中ガス分析装置 .....	( 21 )

2-1-1	オフライン油中ガス分析装置	( 21 )
2-1-2	オンライン油中ガス分析装置	( 21 )
2-2	試料油の採取 (採油)	( 22 )
2-2-1	採油箇所	( 22 )
2-2-2	採油容器	( 22 )
2-2-3	採油方法	( 22 )
2-3	ガス抽出方法	( 23 )
2-3-1	置換抽出方法	( 23 )
2-3-2	真空抽出方法	( 23 )
2-3-3	平衡抽出方法	( 24 )
2-4	油中ガス分析対象成分	( 24 )
2-5	ガスクロマトグラフ	( 25 )
2-5-1	分離カラム	( 25 )
2-5-2	キャリアガス	( 25 )
2-5-3	検出器	( 25 )
2-5-4	記録計 (データ処理装置)	( 26 )
第3章	油中ガス分析装置の校正	( 27 )
3-1	分析感度・精度	( 27 )
3-1-1	検出限界値と定量下限値	( 27 )
3-1-2	分析結果の表示	( 27 )
3-1-3	室内併行精度と室間再現精度	( 27 )
3-2	標準試料油による校正	( 27 )
3-2-1	標準試料油の作製方法	( 27 )
3-2-2	標準試料油による補正効果	( 28 )
3-2-3	標準試料油の作製数と精度, 調整濃度	( 28 )
3-2-4	標準試料油による検量線作成と油中濃度の算出	( 28 )
3-3	標準混合ガスによる校正	( 28 )
第4章	油中ガス分析による保守管理基準	( 29 )
4-1	内部異常と発生ガス	( 29 )
4-1-1	油中ガスの発生要因	( 29 )
4-1-2	変圧器内部不具合における発生ガス	( 34 )
4-2	油中ガス分析による判定	( 37 )
4-2-1	平常運転変圧器における発生ガス量	( 37 )
4-2-2	不具合変圧器における発生ガス量	( 39 )
4-2-3	発生ガス増加率と不具合判定方法の検討	( 42 )
4-2-4	ガス分析精度向上による不具合予知の可能性	( 44 )
4-2-5	判定基準	( 45 )
第5章	不具合変圧器の様相診断	( 48 )
5-1	油中ガス分析による様相診断	( 48 )
5-1-1	ガスパターンによる診断方法	( 48 )
5-1-2	異常診断図による診断方法	( 52 )
5-1-3	特定ガスによる診断方法	( 53 )
5-1-4	等価過熱面積を用いた診断方法	( 60 )
5-1-5	トレンド分析による様相診断方法	( 61 )
5-2	多変量解析による内部不具合変圧器の判定・様相診断	( 68 )
5-2-1	線形SVMによる内部不具合変圧器の判定	( 68 )
5-2-2	線形SVMによる様相診断方法	( 68 )
5-3	油中ガス分析による診断	( 69 )
5-3-1	油中ガス分析診断フロー	( 69 )
5-3-2	保護継電器動作時の油中ガス分析診断	( 71 )
5-4	油中ガス分析による診断事例	( 72 )

5-4-1	油中ガス分析により異常を検出した事例	( 72 )
5-4-2	保護継電器動作で異常を検出した事例	( 75 )
第Ⅲ編 流動帯電に関する保守管理		( 79 )
第1章 総論		( 79 )
1-1	流動帯電研究の経緯	( 79 )
1-2	研究項目	( 79 )
第2章 流動帯電に関する保守管理の実態と評価		( 79 )
2-1	アンケート調査	( 79 )
2-1-1	調査対象	( 79 )
2-1-2	調査内容	( 80 )
2-1-3	調査結果	( 80 )
2-2	流動帯電不具合事例	( 82 )
2-2-1	C工場 500kV 外鉄	( 82 )
2-2-2	B工場 500kV 内鉄	( 85 )
2-2-3	E工場 超高压 内鉄	( 86 )
2-2-4	H工場 154kV 内鉄	( 87 )
2-2-5	C工場 500kV 外鉄	( 88 )
2-3	現状の保守管理方策の評価	( 89 )
2-3-1	電協研第54巻第5号(その1)の保守管理方法の評価	( 89 )
2-3-2	従来保守基準では判別困難な事例の紹介	( 89 )
第3章 流動帯電現象の特性と新たな知見		( 90 )
3-1	流動帯電のメカニズム	( 90 )
3-2	変圧器における流動帯電	( 91 )
3-2-1	変圧器内での流動帯電現象	( 91 )
3-2-2	静電気放電に至るプロセスと発生パターン	( 92 )
3-2-3	巻線漏れ電流と流動帯電との関係	( 93 )
3-3	経年器における流動帯電増大メカニズム	( 93 )
3-3-1	絶縁油およびPBの経年劣化	( 93 )
3-3-2	経年劣化の加速要因	( 94 )
3-3-3	経年劣化による蓄積電荷量の増大	( 95 )
3-4	変圧器の流動帯電に影響をおよぼす因子	( 95 )
3-4-1	変圧器運転条件および構造	( 95 )
3-4-2	絶縁油の特性	( 98 )
3-5	流動帯電による変圧器の絶縁破壊	( 101 )
3-5-1	変圧器の流動帯電と放電のタイプ	( 101 )
3-5-2	静電気放電から交流絶縁破壊に至るメカニズム	( 103 )
3-5-3	静電気放電により発生する油中ガス	( 103 )
第4章 絶縁油の高帯電度化		( 104 )
4-1	変圧器で使用している絶縁油の変遷	( 104 )
4-2	経年による絶縁油の高帯電度化	( 106 )
4-2-1	絶縁油の高帯電度化の加速要因	( 106 )
4-2-2	絶縁油の高帯電度化の起点となる化合物の検討	( 106 )
4-2-3	絶縁油を高帯電度化させる化合物の検討	( 108 )
4-2-4	絶縁油の高帯電度化メカニズム	( 109 )
第5章 絶縁物の高帯電度化		( 110 )
5-1	絶縁物の流動帯電特性	( 110 )
5-2	絶縁物の経年酸化による高帯電度化	( 110 )
5-3	絶縁物への絶縁油中化合物の吸着による高帯電度化	( 111 )
5-4	絶縁物の高帯電度化による流動帯電増大事例	( 113 )
5-5	絶縁物の高帯電度化メカニズムと流動帯電評価	( 115 )

5-5-1	絶縁物の高帯電度化メカニズム	(115)
5-5-2	絶縁物の経年を考慮した流動帯電評価	(115)
第6章	流動帯電の診断技術	(117)
6-1	診断技術の概要と変遷	(117)
6-1-1	流動帯電のメカニズムと診断技術	(117)
6-1-2	診断項目	(118)
6-2	測定技術	(120)
6-2-1	PB上の蓄積電荷密度測定	(120)
6-2-2	油中硫黄化合物量測定	(121)
6-2-3	帯電度測定	(122)
6-2-4	誘電正接および体積抵抗率測定	(122)
6-2-5	巻線漏れ電流測定	(122)
6-2-6	部分放電測定	(123)
6-3	変圧器の直流電界評価	(123)
6-3-1	変圧器の直流電界評価	(123)
第7章	稼働中変圧器のフィールド調査結果	(126)
7-1	フィールド調査内容	(126)
7-2	絶縁油の調査結果	(127)
7-2-1	変圧器運転年数と各種特性の関係	(127)
7-2-2	帯電電位および電荷密度と帯電度を含み絶縁油特性との関係	(130)
7-2-3	油中硫黄化合物と変圧器運転年数、各種特性の関係	(132)
7-3	経年PBの調査結果との関係	(136)
7-3-1	E工場 超高压内鉄	(136)
7-3-2	D工場 154kV内鉄	(136)
7-4	経年絶縁物(PB)の高帯電化増幅率について	(137)
7-5	まとめ	(137)
第8章	流動帯電に対する変圧器の抑制方策	(138)
8-1	機器設計に対する配慮	(138)
8-1-1	冷却	(138)
8-1-2	使用絶縁材料	(141)
8-1-3	絶縁物中の水分	(141)
8-2	絶縁油に対する配慮	(141)
8-2-1	油中水分	(141)
8-2-2	油劣化防止	(142)
8-2-3	油処理(油入替)	(143)
8-2-4	中身乾燥処理	(143)
8-2-5	注油処理(加熱脱気)	(143)
8-3	現地作業に対する配慮	(143)
8-4	当面の流動帯電抑制方策に対する検討	(144)
8-4-1	冷却制御方式の変更	(144)
8-4-2	気中曝露時間と回数の影響	(144)
8-4-3	気中曝露を伴う保全工事後のBTA添加	(144)
第9章	流動帯電に関する変圧器保守管理基準	(146)
9-1	保守管理対象変圧器の検討	(146)
9-1-1	保守管理対象変圧器の評価	(146)
9-1-2	保守管理対象変圧器のランク分け	(147)
9-2	流動帯電診断フローと管理基準	(148)
9-2-1	診断フロー	(148)
9-2-2	保守管理基準値	(149)

第Ⅳ編 事故障害発生時の影響評価 .....	( 152 )
第 1 章 総論 .....	( 152 )
1-1 背景 .....	( 152 )
1-2 研究項目 .....	( 152 )
第 2 章 事故障害事例, 系統への影響 .....	( 153 )
2-1 事故障害事例, 系統への影響 .....	( 153 )
2-1-1 変圧器異常時の対応事例 .....	( 153 )
2-1-2 系統への影響 .....	( 154 )
2-2 変圧器改修において考慮している事項 .....	( 155 )
第 3 章 事故障害時の影響度評価方法 .....	( 157 )
3-1 ハザード解析 .....	( 157 )
3-1-1 はじめに .....	( 157 )
3-1-2 ハザード解析の概念 .....	( 157 )
3-1-3 ハザード解析例 .....	( 158 )
3-2 ハザード解析による事故発生確率, 障害発生確率の検討 .....	( 159 )
3-2-1 検討条件 .....	( 159 )
3-2-2 経年による事故発生確率の検討 .....	( 159 )
3-2-3 変圧器部位別, 事故様相別の事故発生確率検討 .....	( 160 )
3-2-4 経年による障害発生確率の検討 .....	( 161 )
3-2-5 設備状態に応じた事故発生確率の検討 .....	( 161 )
3-3 変圧器事故が系統に及ぼす影響度評価手法の検討 .....	( 162 )
3-3-1 状態列挙法に基づく簡易手法 .....	( 162 )
3-3-2 シミュレーションプログラムによる手法 .....	( 164 )
3-3-3 解析結果 .....	( 164 )
3-3-4 解析結果考察・評価 .....	( 166 )
3-3-5 まとめ .....	( 166 )
第Ⅴ編 変圧器改修の考え方 .....	( 167 )
第 1 章 変圧器改修の考え方 .....	( 167 )
第 2 章 継続使用可否判断に資する評価項目 .....	( 168 )
2-1 油中ガス分析 .....	( 168 )
2-1-1 油中ガス分析に基づく改修判断の考え方 .....	( 168 )
2-1-2 油中ガス分析での保守管理 .....	( 168 )
2-2 流動帯電診断 .....	( 170 )
2-2-1 流動帯電診断による改修判断の考え方 .....	( 170 )
2-2-2 流動帯電の保守管理対象 .....	( 170 )
2-2-3 流動帯電の保守管理項目 .....	( 170 )
2-3 総合診断のための新たな診断技術 .....	( 171 )
2-3-1 電気的手法による新しい診断技術の概要 .....	( 171 )
2-3-2 その他の手法による新しい診断技術の概要 .....	( 171 )
2-3-3 新しい診断手法適用に対する期待と展望 .....	( 172 )
第 3 章 改修の優先順位付与に資する項目 .....	( 172 )
3-1 系統への影響度評価 .....	( 172 )
3-1-1 経年と事故発生確率 .....	( 172 )
3-1-2 油中ガス分析結果と事故発生確率 .....	( 173 )
3-1-3 変圧器事故が系統に及ぼす影響評価 .....	( 173 )
3-1-4 系統への影響度評価時に考慮すべき事項 .....	( 173 )
3-2 劣化現象 .....	( 173 )
3-2-1 絶縁紙の劣化 .....	( 173 )
3-2-2 同形劣化事象 .....	( 174 )
3-3 その他 .....	( 174 )

3-3-1 保守性 .....	( 174 )
3-3-2 経済性 .....	( 175 )
3-3-3 運転履歴 .....	( 176 )
第4章 改修計画策定時の配慮事項 .....	( 176 )
4-1 後年度の設備投資 .....	( 176 )
4-2 工事対応能力 .....	( 177 )
付録 1 異常診断表による診断と IEC 法による診断 .....	( 178 )
付録 2 LTC 切換開閉器室からの絶縁油混入診断補足資料 .....	( 180 )
付録 3 標準試料油作製方法 .....	( 183 )
付録 4 油中ガス分析アンケート調査結果 .....	( 185 )
付録 5 多変量判別分析 .....	( 192 )
付録 6 その他のガス抽出方法など .....	( 197 )
付録 7 蓄積電荷密度測定 .....	( 198 )
付録 8 油中硫黄化合物量測定 .....	( 206 )
付録 9 フィールド変圧器高帯電度化調査結果 .....	( 208 )
付録 10 プレスボード上蓄積電荷密度の管理値 .....	( 210 )
付録 11 電気的手法による新しい保全診断技術 .....	( 212 )
付録 12 その他の手法による新しい保全診断技術 .....	( 217 )
付録 13 新手法導入による効果の検討 .....	( 219 )
付録 14 状態列挙法を用いた簡易計算手法 .....	( 222 )
付録 15 管理帳票例 .....	( 223 )

#### CD-ROM 収録データ

- CD 付録 1 平常運転変圧器の油中ガス分析アンケート調査結果
- CD 付録 2 流動帯電アンケート調査結果
- CD 付録 3 海外文献調査結果 (油中ガス分析関連, 流動帯電関連, 事故障害対応関連)
- CD 付録 4 状態列挙法による信頼度計算 (エクセルシート)