環境負荷の少ない経済的な電力技術開発を目指して

正員 岡本 達希* 正員 合田 豊*

Toward Ecological and Economical Power Equipment Development

Tatsuki Okamoto*, Member, Yutaka Goda*, Member

Ecological and economical stand point of view becomes the most significant issues in electric power technology these days. There are many research works and reports on the development of ecological and economical power technology including new machines and also new asset management methods. In this report, several research results are explained mainly based on the research works presented in 2004 CIGRE Paris meeting.

キーワード：環境負荷，経済性，電力，高電圧機器

Keywords: ecology, economy, electric power, high voltage equipment

1. はじめに

本特集解説では CIGRE 等の国際会議における低環境負荷電力設備や経済的な設備管理技術に関する研究をベースにして，著者の独断と偏見で興味ある研究成果をいくつか紹介してみたい。電力機器は総合技術であり広範な技術の集合体となっている。そのため環境負荷と云ってもいわゆる地球温暖化に関連して温室効果ガス問題もあれば，電力設備周囲の電磁環境問題や景観を考慮した電力設備開発等非常に多岐に亘るし，経済性の検討は永遠の課題となっていることも事実であり，この解説ではそのほんの一部を紹介するに過ぎないことを始めにお断りしておきたい。基本的に従来技術の改良時に環境性や経済性を検討した成果，新技術の開発による環境問題への挑戦に分けてハード的な技術開発やソフト的な技術開発について概観してみたい。

2. 従来設備の有効利用による経済性向上・環境負荷低減技術

2・1 診断技術 最近の CIGRE 会議ではほとんど全ての電力機器に関する診断技術関連の研究発表があるが，ここではほんの一例として発電機を含む回転機，変圧器，ケーブル等について簡単に概説したい。これらの診断技術はいずれトータルの経済性を考えるために必要となるアセットマネージメントを支える技術のひとつとして統合されて行く傾向にあると考えている。

(1) 回転機 最近の著しい測定技術とデータ処理技

術の進歩により高度な測定が比較的容易にできるようになっている⁽¹⁾⁽²⁾。例えば運転中でしか検出が難しいスロット放電を捉えた例を図 1 に示す。発電量により機械振動が変化しそれによって放電の変化が捉えられている。

(2) 変圧器 診断に関する報告は多く見られるが基本的にはガス分析による診断が信頼度が高いと考えられているためか発表論文もガス分析に基づくものが多い⁽³⁾。図 2 に部分放電の発生から変圧器の絶縁破壊に至るまでのガス分析による状態変化を把握する手法の提案例を示す。

(3) CV ケーブル 配電用機材の中で最も絶縁破壊の多い機材のひとつで多くの診断技術や劣化位置評定技術が提案されている⁽⁴⁾。図 3 は現場で簡単に課電できる減衰振動波電圧を用いた部分放電検出例で，放電パルスの時系列解析等により劣化位置の検出を容易にしている。この方

図 1 発電機のスロット放電測定例⁽²⁾

Fig. 1. Partial discharge from slot gap in a hydrogeneratro.

* (財)電力中央研究所

〒240-0196 横須賀市長坂 2-6-1

Central Research Institute of Electric Power Industry

2-6-1, Nagasaka, Yokosuka 240-0196

図2 変圧器の絶縁破壊までの時系列ガス分析例⁽³⁾

Fig. 2. Resolved gas analysis in a transformer.

図3 減衰振動波電圧によるCVケーブルでの部分放電検出例⁽⁴⁾

Fig. 3. Partial discharge detection in an XLPE power cable with attenuating oscillation wave voltage.

法のポイントは通常の過電圧レベルである運転電圧の1.5倍程度の電圧で試験できることである。

2.2 アセットマネージメント技術 CIGRE等の国際会議で最近特に注目を集めているのは機器単体の診断技術の上位概念である、トータル的な経済性を考慮した電力機器のアセットマネージメントを目指した研究報告等がある⁽⁵⁾⁽⁶⁾。図4はアセットマネージメントの基本的な概念を示すもので個々の装置からシステムの診断、さらにはリスク評価までをカバーする必要があることを示した図で、今

図4 機器診断レベルからリスク管理レベルの階層構造⁽⁶⁾

Fig. 4. Class structure from machine management level to risk management level.

後は単に機器の診断だけでなく、トータルで設備管理する技術の必要性がますます重要になってくることを示唆している。

3. 環境性を目指した新技術開発

経済性や低損失化の観点は永遠の課題で開発が十分進んだと思われる変圧器に関しても未だに低損失化を検討した例⁽⁷⁾もある。しかし従来以上に重要な課題となっている環境問題の観点は、場合によっては機器開発の最重要課題のひとつにさえなり得る。この観点で多くの技術開発例が発表されている。例えば植物油の変圧器等への適用可能性の検討例も興味深い⁽⁸⁾。また架空送電線やCVケーブルよりもGILが磁界影響の観点から優位であることを述べた検討例⁽⁹⁾も最近の世相を反映している。さらには図5に示す様な変電所の景観影響を検討した例⁽¹⁰⁾も今後はさらに重要性を増す観点を示すものである。

以下では最近実施されたいくつかの環境負荷低減を目指した技術開発として従来技術の改良による環境影響低減を目指した変電機器技術や将来の技術として開発を進めている超電導ケーブルや全固体変電所の例を示す。

3.1 従来技術の改良による環境負荷低減

(1) 低環境負荷 GIS 図6に示す様に従来のGISよりもさらにコンパクト化して30%の材料使用量低減や70%のSF₆ガス使用量低減を実現することが可能としている⁽¹¹⁾。

(2) 固体絶縁開閉器 近年の電力用開閉器にはSF₆ガスが多用されているが、同ガスが京都議定書における温室効果ガスとして指定されたため、可能なら同ガスを用いずに開閉器を構成したいと云う要望が高まり、固体絶縁と真空スイッチを用いた開閉器が開発された。もともと固体絶縁は空気絶縁に比べて10~20倍の絶縁耐力を有するといわれており、SF₆ガスに替わる絶縁方式として期待されている。中電圧開閉器においては、SF₆ガスに替わる絶

図 5 遊園地の近くにある変電設備の景観対策⁽¹⁰⁾

Fig.5. Reduced visual impact of a substation located close to an amusement park.

図 6 従来型 GIS (左側) とコンパクト GIS (右側)⁽¹¹⁾

Fig.6. Comparison of conventional GIS (left) and compact GIS (right).

図 7 固体絶縁スイッチギアの内部構造⁽¹¹⁾

Fig.7. Structure of solid insulated switch gear.

縁媒体として、図 7 に示すエポキシ樹脂で母線、遮断部（真空遮断器）、断路部など全ての主回路部をモールドした固体絶縁スイッチギア（定格電圧：24 kV，定格電流：1250 A，定格遮断電流：25 kA）が開発されている⁽¹²⁾。

3・2 新技術による環境負荷低減

(1) 超電導ケーブル 超電導ケーブルは産業技術審議会・研究開発プロジェクト評価報告書に「社会システムの成熟度に応じて、利便性の高い電力の需要は確実に増大の一途をたどるのは必至であり、その供給安定は社会的要請である。また、21 世紀の産業においては、省資源・省エネルギーを伴う高効率化のみならず温暖化ガス排出抑制による環境負荷低減への貢献も追求されねばならない。これらの要請に応えるべく、超電導技術を導入することにより、発電の高効率化や系統安定度の向上に寄与する機器を開発し、我が国の電力システムの向上に資する目的・意義は明解である。」とある様に多くのメリットがある夢の送電技術と考えられている。

将来の高温超電導ケーブルの実送電システムへの導入では線路長は数 km が想定されている。一方、超電導ケーブルはケーブルであるが、液体窒素を循環冷却する構造から、液体窒素輸送配管ともいえる。そこで電気特性や液体窒素循環時の圧力特性、流体振動現象の把握も含めて 500 m 長の超電導ケーブルを用いたフィールド試験が最近実施された。図 8 は試験に用いられたケーブルの構造で、図 9 は試験風景

図 8 試験に用いられた超電導ケーブルの写真

Fig.8. Photograph of a SC cable specimen.

図 9 超電導ケーブルのフィールド試験風景

Fig.9. Photograph of a SC cable specimen.

図 10 全固体絶縁地下変電所の想像図⁽¹³⁾

Fig. 10. Conceptual figure of all solid insulated underground substation.

景を示す写真である。

(2) 全固体変電所 前述の固体絶縁開閉器をさらに発展させたとも言える固体絶縁体をフルに使用した次世代の変電所の構想も提案されている⁽¹³⁾。これは図 10 に示す様に基本的に油浸絶縁や SF₆ ガス絶縁を用いしないで、固体絶縁を用いて変電所を構成する構想である。これは変電機器の高効率化、コンパクト化(高密度化)、メンテナンスの容易な構造などを目指しさらに高環境性、防災性を高めることが目的で、将来の変電所の候補のひとつと考えている。

4. おわりに

本稿では CIGRE 等の国際会議での発表論文をベースに、最近実施された現時点で世界最長である 500 m 超電導ケーブルの試験例も含めて、最近の環境性や経済性を目指した電力技術の一端を紹介した。勿論、本稿以外にも非常に多くの技術開発例があるが、紙面の都合もあり本当に一部だけの紹介になってしまったが、この環境性・経済性の観点からの技術開発は現在も世界中で活発に進められていることを感じて頂ければ幸甚である。

(平成 17 年 3 月 14 日受付)

文 献

- (1) H.D. Kim, Y.H. Ju, Y.J. Kim, and K.B. Cho: "Study and development of on-line monitoring system for a KEPCO pumped storage generator/motor", CIGRE Reports, A1-207 (2004)

- (2) C. Azuaje and W. Torres: "Experiences in identification of partial discharge patterns in large hydrogenerators", CIGRE Reports, A1-2097 (2004)
 (3) S.R. Lindgren: "Transformer condition assessment experiences using automated on-line dissolved gas analysis", CIGRE Reports, A2-202 (2004)
 (4) E. Gulski, F.J. Wester, Ph. Wester, E.R.S. Groot, and J.W. van Doeland: "Condition assessment of high voltage power cables", CIGRE Reports, D1-306 (2004)
 (5) M. Osborne: "The use of standard bay designs to achieve lifecycle efficiencies within National Grid Transco", CIGRE Reports, B3-206 (2004)
 (6) Ph. Wester, E. Gulski, E.R.S. Groot, and I. Ring: "Knowledge base approach in relation to risk management of distribution and transmission assets", CIGRE Reports, B3-209 (2004)
 (7) A. Saleh, A. Omar, A. Amin, A. Adly, T. Fawzi, and S. El-Debeiky: "Estimation and minimization techniques of transformer tanklosses", CIGRE Reports, A2-104 (2004)
 (8) Y. Bertrand and L.C. Hoang: "Vegetable oils as substitute for mineral insulating oils in medium-voltage equipments", CIGRE Reports, D1-202 (2004)
 (9) V. Piputvat, W. Rochanapithyakorn, H. Koch, S. Poehler, G. Schoeffner, and T. Hillers: "550 kV Gas Insulated Transmission line for high power rating in Thailand", CIGRE Reports, B1-107 (2004)
 (10) J. Bender, K. Kawakita, A. Okada, A.-M. Sahazizian, S. Samek, and U. Schwing, on behalf of WG B3.03: "Improving the visual impact of existing substations on environments", CIGRE Reports, B3-201 (2004)
 (11) J. Sato, O. Sakaguchi, N. Kubota, S. Makishima, S. Kinoshita, T. Shioiri, T. Yoshida, M. Miyagawa, M. Homma, and E. Kaneko: "New technology for Medium Voltage Solid Insulated Switchgear", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002, pp.1791-1796 (2002)
 (12) F. Leclerc: "Impact of the environmental design for switchgear applications of high voltage substations", CIGRE Reports, C3-101 (2004)
 (13) 渋谷正豊・岡本達希・葛間泰邦・合田 豊・鈴木 寛・岩田幹正・門 裕之・堀 康彦・土田秀一・金神雅樹・高橋紹大・武田敏尚・田中慎一・古川静枝・水谷嘉伸:「全固体変電所の提案」, 電中研調査報告, W00047 (2001)

岡 本 達 希 (正員) 1951 年生。1976 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 4 月(財)電力中央研究所入所。現在、電力技術研究所副所長。主として、コンピュータ計測、高分子絶縁材料に関する研究に従事。1998～2000 年名古屋大学理工科学総合研究センター客員教授。工学博士。1983、1994、1999 年電気学会論文賞受賞。

合 田 豊 (正員) 1956 年 4 月 1 日生。1979 年 3 月名古屋大学卒業。同年 4 月(財)電力中央研究所入所。現在、電力技術研究所高エネルギー領域リーダー。主として、電力流通設備の大電流アーク現象に関する研究に従事。工学博士。1997 年電気学会進歩賞、1998 同論文賞受賞。IEEE Senior Member。