低温ケーブルと断熱・電気絶縁

隈 彰 二・深 沢 正 名

日立電線(株)研究所 茨城県日立市日高町5の1

(1974年3月7日受理)

Thermal and Electrical Insulations for Cryogenic Cables

Shoji KUMA and Masana FUKASAWA

Research Lab. Hitachi Cable, Ltd. 5-1, Hitaka-machi, Hitachi-shi

(Received March 7, 1974)

Synopsis :

This article introduces the cryogenic power cable, especially its thermal and electrical insulations. These are important matters on the reliability of cryogenic cables. Thermal insulating methods for cables are similar to general cryogenic vessels. However the length of the cable makes some troubles in evacuation, formation, etc. The applications of thermal insulating methods are discussed with the examples of several plants. Electrical insulating materials at low temperature have been researched in these few years. Solid materials have no reliability because of thermal cracks. Polyethylene paper laminated insulation impregnated with liquid nitrogen has good performance for liquid nitrogen cooled cable. For the super-conductive cable, supercritical helium impregnated tape-type insulator seems promising as electrical insulating methods.

1. ま え が き

超電導現象の発見以来、超電導送電は夢の送電線路として多くの人々の話題にのぼってきた。1960年代になり、超電導マグネットの成功に刺激され、また、超電導線材の工業規模の製造、低温技術の向上などの技術的進歩にともない、現実的な話題として超電導送電の可能性が検討されるようになった。1962年、超電導ケーブルの具体的構想が R. McFee により初めて発表された¹⁾。彼は 3 種類の超電導ケーブルを提案し、当時の米国における全電力需要を腕一本の太さのケーブルで送電できると述べている。その後、数多くの超電導送電に関する提案、概念設計、経済試算などが試みられ^{2)~4)}、1969年英国 CERL の 2m モデル線路がつくられ⁵⁾、モデル線路による実験検討の時代に入った。

一方、低温における導体抵抗の減少を利用し低温冷

媒による強制冷却をおこなう抵抗性低温ケーブル (Cryoresistive Cable) の検討もおこなわれ、超電導ケーブルとの経済比較がなされた⁶⁾。結論的には超電導ケーブルの優位は明らかであるが、液体ヘリウム温度における各種材料の工学的データの不足など技術的未解決の問題が多く、現在の電力事情からの要請に答えるためには液体窒素冷却抵抗性低温ケーブルは十分魅力的である。

我国においては1962年頃から各電線メーカーは超電導ケーブルの調査、概念設計を始め、1963年電力中研送電機能研究会は超電導送電の概念設計、試算をおこなっている⁷⁾。電力中研は翌年から超電導送電懇談会を発足させ、1968年にはこれを超電導送電委員会と改称、メーカーも参加して概念設計、問題点の明確化などをおこない、日本の超電導送電研究の原動力となった⁸⁾。また、電総研も超電導送電の基礎的研究から出発し、開発研究に着手している⁹⁾。一方、大容量送電

ケーブル開発の一環として各電線メーカーは液体窒素冷却抵抗性ケーブルの試作に着手し、モデル線路による各種試験をおこなっている^{10)~12)}。

低温ケーブルの開発に際して未だ数多くの問題が残されているが、ここではその信頼性に関係する断熱と電気絶縁について述べる。

2. 電力ケーブル

低温ケーブルについて述べる前に、従来の代表的な電力ケーブルである OF ケーブル (Oil Filled Cable) を説明しておく。図 1 に 500 kV OF ケーブルの断面写真をしめす。電力ケーブルは基本的には導体とそれを取まく絶縁体、さらに絶縁体にかかる電位を均一に同心円とするための絶縁遮蔽層からなっている。OF ケーブルの電気絶縁は低粘度油を含浸したクラフト紙で構成されており、温度変化にともなう油の膨張収縮をケーブル端部の圧力槽で吸収するために導体内部に油通路が設けられている。導体は交流電による表皮効果を減少させるために分割され、分割部分はそれぞれ絶縁されている。この中空導体を絶縁する際、撚線による電界集中と熱変化による導体、絶縁体間の空隙が電気絶縁上問題となるので、カーボン紙による半導

図 1 500 kV OF ケーブル断面図

電性導体遮蔽層を設けその上にクラフト紙を巻く。ケーブルをフレキシブルにするため、15~40 mm 幅のクラフト紙を 1 mm 程度のギャップをあけ横巻きにする。絶縁体の外側はやはり半導電層を介して絶縁遮蔽層が巻かれる。これを Al 波付管で被覆し 3 気圧程度の油圧をかける。

ケーブルの電流容量は、各材料の熱劣化からきまる最高使用温度と導体発熱、誘電体発熱、シース誘導発熱からきまる。誘電体発熱は電圧の 2 乗に比例するので、絶縁材料としては耐電圧の他に誘電正接 ($\tan\delta$) が重要である。油浸紙は耐電圧、誘電正接ともに優秀であり、50 年以上の実績があり信頼性に富んでいる。

3. 低温ケーブル

低温ケーブルは原理的には従来型ケーブルを低温にすればよく、超電導ケーブルでは導体を超電導体におきかえればよい。しかし、このとき二つの問題が生じる。一つは材料の物性変化であり、とくに電気絶縁材料において著しく、従来の油浸紙は油の固化、クラックなどのため使用に耐えない。もう一つの問題は冷却断熱である。これは低温にするために必要なものであるが、長尺という点で多くの困難がある。この他にも超電導体の構成など付随した多くの問題がでてくる。

以下、いくつかの低温ケーブル試験線路を例にその構造について述べる。

3.1 リジッド型超電導ケーブル

リジッド型ケーブルはケーブルコアも断熱管路もリジッドな構造をもち、8~20 m 定尺のものを工場生産し現地接続するものである。リジッド型超電導ケーブルは英国 CERL³⁾、米国 UCC¹²⁾ 社などで検討されている。図 2 に CERL の 2.7 m 試作線路の断面をしめす。CERL は通電試験を目的としたので絶縁を考慮していない。ケーブルは単相交流、厚さ 0.1 mm の Nb 箔導体をつかった 35 mm と 55 mm の同軸構造である。

リジッド型超電導ケーブルは超電導中空導体の製造が比較的容易なため初期の設計に多い。リジッド型ケーブルの中空導体は Cu 管または Al 管上に超電導体をコートしたもの (交流用)、または埋めこんだもの (直流用) が一般的である。リジッド管であるから耐圧、断熱の設計で有利ではあるが、現地における多層同軸管の接続、信頼性に問題がある。

3.2 セミフレキシブル型超電導ケーブル

この型はリジッド型の断熱管路に長尺フレキシブル

図2 CERL の試作超電導ケーブル断面図

のケーブルコアを引込むものであり、独国 Siemens 社¹⁴⁾、仏国 CGE 社¹⁵⁾などで検討されている。ケーブルコアをフレキシブルにするために撚線導体、テープ巻き積層絶縁構造をとるのが一般的である。交流用超電導撚線導体は Cu 線と超電導素線を一緒に撚り込んだものと、Cu 素線上に超電導体をコートし撚線としたものがあり、中空導体としている。直流用撚線素線は一般のマグネット用線材と同様である。本構造は断熱管路はリジッド型の長所を残し、導体などの接続に対する不信を取り除いている。

3.3 フレキシブル型超電導ケーブル

フレキシブル型ケーブルはケーブルコア、断熱管路ともにフレキシブルなものを呼び、工場で一体生産される。この型は独国 AEG 社で研究されている¹⁶⁾。その構造を図3に示す。導体は Nb₃Sn を Cu ストリップに蝋付けしたものであり、絶縁は超臨界 He 含浸紙絶縁である。フレキシブル型ケーブルは外径を押えられてしまうので、導体表面磁界の点から直流送電用が有利である。本構造は工場で長尺生産されるので信頼性に富み、コストも低くなると考えられる。しかし、断熱などの面から長尺真空排気など問題点も多い。

3.4 リジッド型抵抗性ケーブル

抵抗性低温ケーブルの中で液体窒素冷却交流ケーブルはかなり現実的な研究対象とされている。リジッド型液体窒素冷却ケーブルは図4に示す高真空電気絶縁、高真空断熱のものが米国 UGC 社で試作されている¹⁷⁾。スペーサはパイレックス・ガラスを用い、イオンシールドとしてチタンリングを入れている。本構造は長尺真空保持、導体接続部の遮蔽など問題も多いが、構造が簡単でありコストも低くなるので魅力ある構造である。

3.5 セミフレキシブル型抵抗性ケーブル

セミフレキシブル型抵抗性ケーブルとしては、20K 付近で運転されるヘリウムガス冷却直流ケーブルと80K 付近で運転される液体窒素冷却交流ケーブルが検討されている^{10)~12)}¹⁸⁾。図5、図6は日立電線の試験線路の断面および試験状況である。日立電線では液体窒素を循環しながら課電、通電を同時におこなう総合的な試験を第1目標として、66 kV、巨長 30m の試験線路を建設した。

導体は Al 撚線中空導体 (100 mm²)、電気絶縁は液体窒素含浸ポリエチレン合成紙であり、断熱には発泡ポリウレタンを用いている。冷却系統は図7に示すように加圧され沸点以下に冷却された液体窒素が循環する構造である。液体窒素冷却ケーブルは後述するように液体窒素含浸テープ巻き積層絶縁の特性が優れているので、セミフレキシブル型が便利で主流といえる。また、導体抵抗が減少するとはいえ未だ導体サイズは大きいので、フレキシブル型ケーブルは寸法的に困難である。

図3 AEG 社の超電導ケーブル断面図

図4 UGC社の抵抗性低温ケーブル断面図

4. 断 熱

低温ケーブルの断熱設計においていくつかの重要な要素がある。第1はその運転温度であり、この点については一般の低温容器とかわらない。第2の要素は許容温度上昇、許容圧力降下と関連する最大冷却区間長である。これは低温ケーブル・システムの製造、運転コストに大きく影響する。第3の要素はその流入熱とケーブル内部発熱とのバランスである。内部発熱より流入熱を極端に小さくしても意味はない。第4は断熱管製造コスト、第5はメンテナンスに関する考慮である。電力ケーブルの信頼性は極めて重大な問題であり、断熱部の損傷、保守点検にともなう停電は絶対に避けなければならない。これらの要素を考慮して断熱方式を選択する必要がある。

4.1 断熱方式

断熱方式を大別すると真空を利用するものとしらないものに分けられる。真空を利用する方式には積層真空断熱、高真空断熱、粉末真空断熱があり、一般に優れた断熱性能を有する。積層真空断熱は Al 箔、Al 蒸着ポリエステルなどの輻射板をグラスウール、プラスチックネットなどのスペーサを介して多層積層し、 10^{-5} torr 以下の真空中に保持するものであり、最も優れた断熱方式である。したがって、低温ケーブル用としても盛んに研究されているが、その際荷重支持法が問題となる。積層体で支持すると面圧が大きくなり断熱特性が悪くなり、また荷重支持用スペーサを別にもうけるとそれをとおして流入熱が増す。この他、真空を利用するどの断熱方法についても長尺真空排気と真空保持が大きな問題であり、新しい考案が必要である

図5 日立電線の液体窒素冷却低温ケーブル断面図

図6 試験状況

う。真空を利用しない断熱には発泡断熱、粉末断熱があり、一般にその断熱性能はよくない。しかし、真空排気にもなう問題がなく、信頼性に富む。

4.2 低温ケーブルへの応用

実験規模ではあるが低温ケーブルの断熱方式についていくつかの例をあげる。

液体窒素冷却ケーブル 液体窒素冷却抵抗性ケーブルでは導体発熱は大きく、500 kV、6,000 A 級のケーブルではその発熱は 200 w/m 程度になる。発泡断熱でも 50 w/m 程度の断熱は可能であるから十分使用に

図 7 試験線路の冷媒循環系統図 (矢印は液体窒素の流れの方向を示す)

耐え、真空を利用しないことによる信頼性を考慮すれば液体窒素冷却ケーブルに最適といえよう。発泡ポリウレタン断熱を施した日立電線における 66 kV, 1,000 A 級液体窒素冷却ケーブルについて、冷媒の循環経路にしたがい各部所の温度上昇を図 8 にしめす¹⁰⁾。管路流入熱による温度上昇は、1,000 A 通電時 1 相分の導体発熱より小さく、発泡ポリウレタン断熱で問題ないことがわかる。

超電導ケーブル 超電導ケーブルの断熱は液体窒素温度程度の中間温度で熱を汲み出し、常温-液体窒素温度、液体窒素温度-液体ヘリウム温度と 2 段の断熱をおこなうのが一般的である。超電導ケーブルは発生熱が少なく、また冷却効率も悪いので、できるだけよい断熱方式をもちいる。したがって、高真空断熱、積層真空断熱に限られる。

リジッド管路の場合、8~20m 程度の管路を接続するが、工場でユニットごとに真空封じ切りにする方法、接続後長尺真空排気して封じ切る方法、接続後運転中も常時真空排気する方式が考えられる。UCC 社ではユニットごとの真空封じ切りを考え、 10^{-7} torr に工場で排気し内部に挿入した活性炭によりヘリウム微少リークを吸着させ、60年間高真空を保障できると考えている。UCC 社の断熱構成は Al 箔とグラスウールによる積層断熱であり、この中に銅テープ 6 枚を挿入し帰路ガスにより中間温度に固定することにより、積層断熱の 1.5% に流入熱をおさえている。

フレキシブル・ケーブルの管路は二つの大きな問題がある。一つは断熱構造が曲げに耐えられる必要があること、もう一つは真空コンダクタンスがきわめて小

図 8 試験線路各部の冷媒の温度上昇 (図 7 冷媒循環系統図参照)

図 9 低温液体の破壊電圧 (破線は筆者の測定結果)

さいことである。曲げの問題は高真空断熱ではスペーサをヘリカルに巻くことにより、積層断熱ではテープ状の輻射板、スペーサを横巻きすることにより解決できるが、その断熱性能は悪くなる。真空排気の問題については、AEG社のフレキシブル・ケーブル(図3)では液体窒素層に吸着剤をつけ、これを炭酸ガスでパージした後1 torr程度に排気し、液体窒素をながし凍結する方法を検討している¹⁹⁾。

5. 電気絶縁

一般に極低温では材料固有の絶縁特性、誘電特性は良好となる。しかし機械的特性の低下や熱収縮、熱応力が大きいことを考えると実際の低温ケーブルの電気絶縁は必ずしも楽観的ではない。ここでは低温ケーブルに適用できそうな、または実際に検討されている絶縁方法を中心に気体、液体、固体、真空およびこれらを組合せた複合絶縁に分け紹介する。なお、低温ケーブル用電気絶縁としては少なくとも油浸紙なみの絶縁性能(交流50 kV/mm, インパルス105 kV/mm)と冷却効率の点から0.01%以下の誘電正接のものが必要であろう。

5.1 気体絶縁

液体窒素温度以下では気体は大部分液化するので、絶縁用気体としてはHe, H₂に限られる。これらの低温における誘電正接は $10^{-7}\%$ と極めて小さい。破壊電圧に関しては低温でもPaschen's law*が成り立ち、密度増加分だけ破壊電圧は上昇する。超臨界Heは破壊電圧が高く、たとえば1 mmギャップに対して5 atgに加圧されたH₂ガスや液体N₂と同程度(約50 kV/mm)の破壊電圧を示し、常温の油よりも高くなる²⁰⁾。

このため数万V以下のケーブルについては超臨界Heガス絶縁や超臨界Heガス含浸複合絶縁が使用できよう。しかし、ギャップ長が長くなると破壊電圧はPaschen's lawから外れ飽和の傾向にあるので、超高電圧ケーブルとしては問題が残されている。

5.2 液体絶縁

液体絶縁については大気圧、沸騰状態において研究されており、その絶縁特性を図9に示す²¹⁾。液体Heはやや低いが、液体H₂, 液体N₂は絶縁油以上

の特性をもっている。液体N₂に関する我々の測定では、破壊電圧は交流ではギャップ長の0.8乗に、インパルスでは0.5乗に比例する。また、同一液体にくり返し課電し劣化をみたが、その破壊電圧は絶縁油に認められるような回数による低下はみられなかった。低温液体の誘電正接は低電界では0.001%以下と小さいが、電界が高くなると急激に増加し0.1%以上にもなる。

最近、絶縁破壊の機構や誘電正接の増加の原因の追求とともに低温液体中のコロナ放電に関する研究も活発におこなわれている。しかし、ケーブルに適用する場合には気体絶縁や真空絶縁と同様にスペーサを必要とし、絶縁性能の良否はスペーサ部の沿面閃絡性能に支配されるが、これらのデータはあまり集積されていない。

5.3 固体絶縁

温度低下とともに有極性材料の比誘電率は減少し、無極性材料のそれは密度増加分だけ増加する。誘電正接はある温度や周波数でピークをしめしながら次第に減少する。市販の100~200 μ 厚のプラスチック・シートの誘電正接を図10に示す²³⁾。

図10 プラスチックシートの誘電正接—温度特性 (at 75 Hz)

* 気体の絶縁破壊に関しては一般に“破壊電圧は気圧とギャップ長の積により一義的に決まる”というPaschen's lawが成立っている。

表 1 各種フィルムの破壊電圧 (30mmφ 球—平板電極)

絶縁破壊電圧 と媒質 試料名 厚さ (μm)	交流破壊電圧 (波高 MV/cm)					直 流 破 壊 電 圧 MV/cm				
	空 気 293°K	N ₂ 液 体 77°K	N ₂ ガ ス 77°K	He 液 体 4.2°K	He ガ ス 4.2°K	真 空 10°K	N ₂ 液 体 77°K	N ₂ ガ ス 77°K	He 液 体 4.2°K	He ガ ス 4.2°K
ポリエステルフィルム 100	1.19	1.71	0.99	1.20	0.85	2.12	2.1	1.6	2.1	1.5
P T F E 100	1.13	1.41	0.97	1.34	0.99	3.02	2.0	1.7	2.3	1.4
ポリエチレン 100	1.27	1.37	1.12	1.44	1.145	25.4	2.1	1.7	2.2	1.6
ナイロン 100	1.02	1.55	1.06	0.92	0.70	1.45	1.8	1.2	1.8	1.1
P V C 100	1.10	1.27	0.99	1.11	0.73	2.0	2	1.8	2.4	1.6
ポリイミドフィルム 100	1.12	1.09	0.97	1.05	0.75	1.82	1	—	2	1.5
クラフト紙 100	1.40	1.98	1.27	1.63	1.27	3.17	2.4	1.8	2.6	1.9

絶縁性能は表1に示すように常温より上昇する傾向にある²⁴⁾。しかし、表1の値は真空中がもっとも高く、気体中よりも液体中、He 中よりも N₂ 中と媒質の絶縁性能に依存しており、かならずしも材料自身の温度特性とはいえない。

プラスチックは常温ではコロナ放電をとまなう課電を長時間続けると水分や酸素のため劣化したり、トラッキング(放電痕跡)を生ずるが、低温では水分、酸素の固化によりこれらの損傷は少くなると予想される。しかし、絶縁厚が厚くなるとクラック、熱収縮の問題があり、超高電圧絶縁を固体だけでおこなうには何らかの対策が必要である。

5.4 複合絶縁

固体もシート状ではクラックが入りにくいことから、これを積層し、その隙間に良好な絶縁特性をもつ気体、液体を入れた複合絶縁は、OF ケーブルの油浸紙絶縁同様積層による絶縁特性の向上も期待できる。また、テープ状にし横巻きすることによりフレキシブルになる。

液体窒素含浸複合絶縁について我々がモデルケーブル試料をつかい検討したことを例にとり述べる²⁵⁾。モデルケーブルは 16 mmφ、450 mm 長の銅パイプ上に幅 20~30 mm の絶縁テープを 1 mm のすきまをあけ横巻きされたもので、図11に示すように加圧され沸点以下に冷却された液体窒素中に浸漬された絶縁テープは電気特性だけではなく、クラックの入りにくさ、液体窒素の含浸性などの点も検討し選択される必要がある。各種材料を試験した結果、ポリエチレン合成紙(Dupont 製 Tyvek) がもっとも優れていた。この紙はポリエチレンの長い繊維を熱と圧力で自己融着したものでポリエチレン 100% の合成紙である。この試料の測定結果は次のとおりである。

図11 試験用クライオスタットとモデルケーブルセット状況

表 2 液体窒素含浸ポリエチレン合成紙絶縁の
インパルスくり返し課電試験結果

印加電圧	インパルスくり返し課電 結果	インパルスくり返し課電後 の交流破壊電圧
+80 kV	3 試料とも 1,000 回 OK	55.0 55.0 60.0 kV
-80 kV	"	58.5 56.0 57.0
+90 kV	"	59.5 56.0 55.5
-90 kV	2 試料は 1,000 回 OK 1 試料は 1 回目破壊	58.0 56.0

図12 液体窒素含浸ポリエチレン合成紙
絶縁の交流長時間課電試験結果

交流破壊電圧 53 kV/mm

インパルス破壊電圧 102 kV/mm

誘電正接 0.001% (30 kV/mm にて)

これに対して、前述した 66 kV 級ケーブル (絶縁厚 7.75 mm) の電気特性は

交流破壊電圧 250 kV (43 kV/mm)

インパルス破壊電圧 526 kV (89 kV/mm)

誘電正接 0.001% (40 kV にて)

であり、破壊電界の低下は小さく、超高電圧絶縁も可能と思われる¹⁰⁾。

電気絶縁の信頼性を確認する方法として交流長時間課電試験とインパルスくり返し課電試験がある。ポリエチレン合成紙の結果を図12、表2に示す。図12から破壊電圧 (V) と課電時間 (t) の関係を求めると $V = 47.4t^{-0.046}$ となり、20 kV/mm 以下の電界では30年間の使用に十分耐えることがわかる。表2からくり返し課電の影響はないことがわかる²⁶⁾。

この他、複合絶縁として超臨界ヘリウム含浸絶縁、低融点液体含浸絶縁が検討されている。前者は超電導ケーブルの絶縁として有望であり、後者は液体窒素温度-常温間での使用を考えている。低融点液体としては石油エーテル、フロン R-12 などとあがられ、基礎的な電気試験の後 154 kV 級の常温と液体窒素温度を結ぶブッシングが試作されている²⁷⁾。

5.5 真空絶縁

真空は電氣的にも熱的にも本質的に絶縁性をもっている。しかし、これを電気絶縁に使うには断熱以上にいくつかの問題がある。一つはスペーサの沿面破壊の問題であり、この他、長尺真空排気および保持、電極材料、コンディショニング、残留ガス、さらに低温ケーブルに適用する際には低温面にトラップされた物質の影響などの問題がある。しかし、

低温冷媒によるクライオポンプの効果を上手に利用することにより高電圧絶縁も可能になるかもしれない。

6. おわりに

低温ケーブルの開発状況と問題点、とくに断熱方式、絶縁方式について述べてきた。ここで述べなかった大きな問題として冷却機などの冷却システムがある。20~30年を保障しなければならない低温ケーブルの開発は低温技術の信頼性が重要な要素である。低温ケーブル開発にたずさわるものの一人として、低温工学に係る諸氏の御指導、御協力をお願いする次第である。

参 考 文 献

- 1) R. Mcfee : Elect. Eng. (Feb. 1962) 122
- 2) W.F. Gauster et al : World Power Conference (1964)
- 3) R. L. Garwin et al : Proc. IEEE (Apr. 1967) 538
- 4) K. J. R. Wilkinson : Proc. IEE (Sept. 1966) 1509
- 5) E. C. Rogers et al : Conf. Low Temp. & Elect. Power (1969) 209
- 6) S. H. Minnich et al : IEEE Winter Power Meeting 70 cp 169 (Jan. 1970)
- 7) 電力中研 : 新送電方式検討会中間報告 (May 1963)
- 8) 電力中研 : 極低温送電 (Mar. 1973)
- 9) 野口他 : 昭48電学大全 No. 143
- 10) 深沢他 : 日立評論 54 No. 4 (Apr. 1972) 80
- 11) 岩田他 : 古河電工時報 No. 53 (Dec. 1972) 37
- 12) 久保他 : 藤倉電線技報 No. 49 (Nov. 1973) 1
- 13) L. K. Eigenbrod et al : IEEE, Trans. on PAS Vol. PAS 89, No. 8 (Nov. 1970) 1995
- 14) V. G. Bogner et al : ETZ-A Bd. 94 H. 5 (1973) 740
- 15) M. Aupoix et al : Conf. Low Temp. & Elect. Power (1969)
- 16) V. H. Voigt : ETZ-A Bd. 94 H. 5 (1973) 256

- 17) P. Graneau et al : IEEE, Trans. on EI Vol. EI-6 No. 1 (Mar. 1971) 39
- 18) M. J. Jefferies et al : IEEE PES Conf. on UT 72 CHO 608-O-PWR (May 1972)
- 19) G. Bogner : CEC Conf. (Aug. 1973)
- 20) R. J. Meats : Proc. IEE Vol. 119 No. 6 (June 1972) 760
- 21) K. N. Mathes : IEEE Trans. on EI Vol. E I-2 No. 1 (Apr. 1964) 24
- 22) 堀井他 : 電学放電研究会資料 ED-72-23 (Oct. 1972)
- 23) R. N. Allan et al : Proc. IEE Vol. 115 No. 3 (Mar. 1968) 432
- 24) J. Bobo et al : Rev. Gen. de L. Elect. Vol. 77 (June 1968) 605
- 25) 深沢他 : 日立評論 56 No. 4 (Apr. 1974) 49
- 26) 深沢他 : 第12回低温工学研究発表会予稿集 A2-9 (Nov. 1973)
- 27) 酒井他 : 電学絶縁材料研究会 IM-73-17 (May 1973)

国際会議案内

Symposium-Course

“Hydrogen Energy Fundamentals”

主催 : Clean Energy Research Institute
 School of Engineering & Environmental
 Design
 University of Miami
 P. O. Box 248294
 Coral Gables, Florida 33124

後援 : The School of Continuing Studies
 University of Miami, Coral Gables, Florida

日時 : 1975年 3月 3日 ~ 5日

場所 : University of Miami, Florida

今年度マイアミで行われた水素の国際会議の成功に引き続き、水素エネルギーのシンポジウムが計画されている。Formal 及び informal な講演と発表及び panel discussion を含む 4つのセッションが毎日用意されている。このプログラムは、入門者には基礎的

理解を, specialist に対しては水素エネルギーサイクル全体にわたる広汎な理解を提供し得るものである。

参加費 : 200~250ドル (Proceeding を含む)

連絡先 : Hydrogen Energy Symposium-Course
 University of Miami
 School of Continuing Studies
 P. O. Box 248005
 Coral Gables, Florida 33124
 U. S. A

(前号に追加)

1974年

11月

13—14日 Gastech 74 (LNG/LPG Marine
 Technology Congress)
 Amsterdam, The Netherlands
 B. Singleton, Europort Exhibitions
 Ltd, 6-7 New Bridge St., London EC
 4, UK