

学位論文審査報告

<https://doi.org/10.15017/17746>

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 10 (4), pp.399-410, 1989-03-31. 九州大学大学院総合理工学研究科
バージョン：
権利関係：



学位論文審査報告

氏名(本籍) 西田茂人(佐賀県)
学位記番号 総理工博乙第92号
学位授与の日附 昭和63年9月27日
学位論文題目 脳波・誘発電位のモデル構成と定
量解析に関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 相良節夫
(副査) 〃 〃 赤崎正則
〃 〃 長田正
〃 〃 熊丸耕介

論文内容の要旨

脳波や誘発電位は、脳障害の診断や神経系の機能検査の補助手段として臨床上よく用いられているが、現在臨床におけるそれらの判定は、脳波判読医の経験に基づいた視覚的所見によってなされている。脳波や誘発電位の特徴を定量的に表現することによって、経験に頼らず自動的にそれらの判定を行うことは臨床において重要な課題である。それを目指した従来の脳波モデルは、パラメータの数が多くことやモデルパラメータと脳波判読医による判読所見との対応が直感的にとりにくいなどの難点がある。誘発電位に対しては、従来誘発電位時系列の各ピークの振幅や頂点潜時(刺激からの遅れ時間)を実際に測定することによるピークごとの定量表現がおもになされている。

本論文では、脳波と誘発電位それぞれの特徴を定量的に表現するモデルとして脳波モデルと誘発電位モデルを提案する。従来のモデルとは異なり、本脳波モデルは、少ないパラメータで脳波特徴を定量表現することができ、モデルパラメータは脳波判読医の判読所見との直感的対応がとりやすい。また、従来誘発電位時系列の各ピークごとの特徴しか促えていなかったのに対し、本誘発電位モデルは、最適化手法により誘発電位を波形分解し、その分解波形による特徴の定量表現を行うことができる。

第1章では、本研究の目的と関連する従来の研究について述べる。

第2章では、脳波モデルのパラメータを決定する際に用いるスペクトル最適分布関数近似法を提案する。

これは、パワースペクトルの形状を分布関数で近似することによってパワースペクトルの特徴を定量表現する方法であり、ここでは分布関数として正規分布を用いて脳波パワースペクトルの定量解析に適用する。脳波を判読する際の基本的判読基準である Organization の自動判定を分布関数パラメータを用いて行い、本方法が脳波パワースペクトルの定量表現法として有効であることを示す。

第3章では、脳波モデルを提案する。モデル構造は一次マルコフ過程によって変動する振幅を有する正弦波が数個重畳したものであり、モデルパラメータは第2章のスペクトル最適分布関数近似法を用いて決定する。本モデルを正常人と患者の安静閉眼時脳波に適用し、時間領域と周波数領域においてモデルと脳波の特徴がよく一致していることを確認することによってモデルの妥当性を示す。さらに、本モデルの有効性を示すために、正常人のデータを用いて、脳波特徴の個人差、各人の左右差の定量表現および Organization の自動判定などに適用できることを示す。これらの結果より、本脳波モデルは、脳波判読医による脳波の判読所見と直感的な対応をとりやすいことがわかる。

第4章では、誘発電位モデルを提案する。モデル構造はむだ時間を含む二次要素が数個並列結合したものであり、モデル出力はこのモデルのインパルス応答として得られる。本モデルを閃光誘発電位に適用し、時間領域と周波数領域においてモデルと誘発電位の特徴がよく一致していることを確認することによってモデルの妥当性を示す。さらに、誘発電位モデルによる誘発電位特徴の定量表現として、従来臨床において促えられていた各ピークの振幅や頂点潜時の定量表現はもちろん、誘発電位を波形分解することによる特徴表現が可能となる。ここでは、分解波形の頭皮上分布から誘発電位の発生源の推定を行うことによって本モデルの有効性を示す。

第5章では、第4章の誘発電位モデルをより広い誘発電位に適用するために、時間重みつき評価に基づく誘発電位モデルの構成法を提案する。これは、時間領域におけるモデリング誤差に重み付けした評価関数の最小化によってモデルパラメータを決定する方法である。本方法によって、体性感覚誘発電位のモデル構成が可能となり、得られた頭皮上の分解波形は医学的所見とよく対応がとれることを示す。

第6章では、誘発電位を記録する際に用いる S/N

比改善法である時系列加算平均法の周波数領域における性質について検討する。新しいS/N比改善法として周波数抽出法を導入し、その結果と時系列加算平均法の結果が一致することを証明することによって、周波数領域からみた時系列加算平均法の性質を示す。この結果を用いることによって、従来あまり検討されていない一般的な雑音に対する時系列加算平均法の性質を明確に示すことができ、誘発電位の記録に適用する際の注意点を指摘することができる。

第7章結論では、以上のまとめと今後の発展について述べる。

論文調査の要旨

最近のエレクトロニクスや計算機の進歩は目覚ましいものがあり、脳波や誘発電位のような微小電位の検出とそれらの信号処理を可能にし、医用電子工学の発展に寄与してきている。脳波や誘発電位は脳障害や神経機能異常の補助診断手段として临床上よく用いられているが、それらの判読は臨床医の経験に基づいた視覚的判断による所見によっている。しかしながら、その判定は、臨床医の経験や個人差などによりばらつきがあり一定ではないので、脳波や誘発電位の特徴を定量的に表現することにより経験によらず自動的に判定を行う信号処理の手法の開発が重要な研究となってきている。従来の研究における脳波モデルは、パラメータの数が多いことや臨床医の判読所見との対応がとり難いなどの問題点があった。また、誘発電位では、波形の特徴パラメータとして各ピークの振幅や潜時のみに注目しており、波形識別のための解析的な検討が十分なされていなかった。

本研究では、少ないパラメータで特徴抽出の可能な脳波モデルを提案し、スペクトル最適分布関数近似法を用いてそのパラメータを決定することにより、脳波特性の自動判定を可能にしている。また、誘発電位については、むだ時間を有する2次振動要素の結合モデルを用いて波形分解することにより、特徴の定量化表現を可能にしている。

筆者はまず、少ないパラメータで特徴抽出表現可能な脳波モデルとしてマルコフ過程で変動する振幅をもった正弦波を数個重畳するモデルを構成している。脳波モデルのパラメータ推定に有効なスペクトル最適分布関数近似法を提案し、それを用いて脳波モデルのパラメータを決定することにより、脳波の優位律動の連

続性に対する基本的判断基準である Organization の自動判定を可能にしている。さらに、安静閉眼時脳波の正常人と患者とに適用しその有効性を確認している。

ついで筆者は、誘発電位モデルとして、むだ時間を有する2次振動要素を数個並列結合したモデルを提案し、閃光誘発電位に適用して時間領域と周波数領域においてモデルが誘発電位の特徴をよくとらえていることを確認している。また、時間重み付き評価を最小化するように最適化手法を用いてモデルのパラメータを推定することにより、波形分解に基づく特徴表現を可能とし、医学的所見とよく対応がとれるようにしている。

さらに著者は、誘発電位のSN比改善法としてよく用いられている時系列加算平均法の周波数領域における性質について、周波数抽出法の概念を導入し検討することにより、雑音の影響を明確にし、有意な誘発電位を求めるための留意すべき諸点を明らかにしている。

以上要するに本論文は、脳波と誘発電位に関して適切なモデルの構成について提案し、それらの自動判読を可能にするための特徴の定量化表現に関する種々の信号処理手法の開発を行ったもので医用電子工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は工学博士の学位論文に値するものと認められる。

氏名(本籍) 大山 隆(広島県)
 学位記番号 総理工博乙第93号
 学位授与の日附 昭和63年9月27日
 学位論文題目 石油系重質油を原料とするニードルコークスの調製に関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 持田 勲
 (副査) 〃 〃 斉藤 省吾
 〃 〃 田代 昌士
 〃 〃 西村 幸雄

論文内容の要旨

石油系重質油の高度有効利用を目的として、種々の熱分解法や接触分解法の研究開発が進められている。この中で、ディレードコーカーは重質油を原料としてガソリンならびに灯・軽油とニードルコークスを同時に製造できる熱分解装置として世界各地で稼働している。ディレードコーカーで製造されるニードルコークスは、苛酷な条件で使用される電気製鋼用黒鉛電極の

必須骨材として、熱膨張係数 (CTE) やバッキング膨張が小さいことが強く要求されている。ニードルコークスの低熱膨張係数を実現するためには、炭素層面が一軸方向に配向することが必要であり、原料ならびに反応条件の高度な制御が必要とされている。しかしながら、ニードルコークス生成の炭化反応機構、原料構造や炭化条件と生成コークス構造との相関、最適炭化条件の予測など一層高品質なニードルコークスの製造に要求される基礎化学には不明な点が多い。

本研究は、実験室で使用できる簡便なコーカーシュミレーター装置の開発、この装置を利用したニードルコークスを生成する炭化反応機構の解明、最適炭化条件の反応機構からの理解、さらにこうして解明された炭化反応機構に基づく高配向、高密度なニードルコークスの調製法の開発を目的とした。こうした基礎工学研究は、高品質ニードルコークスを製造する商業ディレドコーカーの操業に対して、指針を与えることができよう。

第1章では、研究の意義と目的ならびに概要について述べた。

第2章では、ディレドコーカーのモデル炭化装置として、チューブボムを用いる炭化法を開発し、炭化圧力と昇温速度の生成コークス性状への影響を調べた。チューブボムを用いた高速昇温、加圧下での炭化によって、ディレドコーカーで製造、市販されているニードルコークスと比肩できる性状を有する塊状コークスが調製できることを見出した。9種類の石油系残渣油およびピッチを種々の条件で炭化し、生成コークスのCTEや光学組織によって、これらの原料を評価した結果、接触分解残渣油 (FCCDO) が最良、天然ピチューメン (Gilsonite) が最も劣質な原料であることが明らかになった。原料中のアスファルテン留分の含有量とニードルコークスの性状に相関が認められたことから、ニードルコークス原料の評価をする上で、アスファルテンの含有量が指標のひとつになることを指摘した。

第3章では、チューブボムを用いて調製した塊状コークスの光学的異方性組織の定量的評価法を検討し、熱膨張係数 (CTE) との相関関係を調べた。コークス中の光学的異方性組織の単位をベクトルとみなし、単位の形状から分類、定量した流れ組織とドメイン組織の含有量の和、異方比を加味して定量表示した流れ組織の含有量、異方性組織単位ベクトルの平均長さなら

びに異方性組織単位ベクトルのCTE測定軸成分の平均 (fav) を各々CTEと比較した。その結果、いずれもかなりの相関が認められるものの、favが最も良好な指数であることを明らかにした。

第4章では、FCCDO炭化過程を偏光顕微鏡を用いて経時的に観察し、同時に炭化進行に伴って発生するガス量の測定を行うことによって、ニードルコークスの生成機構、すなわち、高度に配向した異方性流れ組織の成因について考察した。ニードルコークスの生成は、球晶の発現、生長、合体、バルクメソフェーズの形成、流れ組織の一軸配向の順に進行することを明らかにした。流れ組織の発達には、球晶の十分な成長・合体、低粘度のバルクメソフェーズの形成およびメソフェーズがコークスに移行する際のガス発生による一軸配向が必要で、このため、炭化反応の円滑な進行と固化時の十分なガス発生が重要な因子となることを結論した。この機構によってニードルコークスは、黒鉛層面が葉巻き状に集合し配向構造をとることが理解できた。

第5章では、石油系低硫黄減圧残渣油 (LSVR) を種々の温度、圧力下で炭化し、生成コークスのCTEならびに光学的異方性組織から、LSVRの最適炭化条件が460℃、15kg/cm²Gであることを見出した。最適炭化温度では、キノリン不溶分の増加や軽質留分の揮散が適度な速度で進行するため、炭化系の粘度が最低値に達した後に比較的ゆるやかに上昇し、メソフェーズ球晶の成長・合体ならびにバルクメソフェーズの形成に有利である。また炭化固化時のガスの発生量も適当であるので、一軸配向性の流れ組織を有するCTEの低いニードルコークスを生成する。一方、最適温度より高い温度では、炭化の進行が非常に速く、メソフェーズの合体・成長のための時間が短く、バルクメソフェーズの形成後に分解ガスの発生量が多いので、配向が乱れたフレック状のコークスが生成する。最適温度より低い温度では、炭化は非常にゆっくり進行するが、炭化反応初期の芳香族性が低く、各成分の相互溶解が低いので、相分離が起り、反応器底部に多量の劣質モザイクコークスが生成する。さらに、固化時のガス発生量は炭化の進行が遅いため非常に少なくなり、流れ組織の一軸配向が達成できないことが明らかになった。炭化反応に対する圧力の効果も炭化反応の各段階について考察し、同様に理解できた。

第6章では、代表的なニードルコークス原料であるLSVR, FCCDO, コールタールピッチ (QIF) の原料な

らびに炭化中間体の化学構造及び反応性を解析し、最適炭化条件との相関関係を明らかにした。LSVR は芳香族性が低く、アルキル側鎖が多いので、FCCDO あるいは QIF に比べ反応性が高い。これに対して、QIF は芳香族性が極めて高く、アルキル側鎖が少ないため、最も反応性が低い。FCCDO はこれらの中間的な化学構造と反応性を有しているが、ナフテン環をかなり含有していることが特徴である。各原料の最適炭化温度は、反応性の序列と相関しており、反応性が高い原料ほど最適温度が低い傾向にある。このような 3 種の代表的コーカー原料の反応性と最適炭化温度との関係は、第 5 章で明らかにした。炭化反応機構に基づき、矛盾なく理解でき、コーカー操業の指針となる。

第 7 章では、LSVR を原料として、炭化途中段階で減圧操作を行うことにより、高配向性かつ高密度なニードルコックスが調製できることを明らかにした。ここで、圧力降下の最適な時期は、すでにバルクメソフェーズが十分に成長し、かつ系の粘度が上昇する時期であり、その前後では効果がない。一方、圧力降下の速度については、速度が高過ぎれば、ガス発生が急激すぎ、発泡が起こり、密度が低下する。逆に、速度が低過ぎれば、ガス発生が長時間にわたり効果が小さいことが判明した。

第 8 章では、本論文を要約し、結論を示した。

論文調査の要旨

ニードルコックスは電炉製鋼電極の骨材として高い品質が要求されている。品質の一層の向上にはディレドコーカー内で石油系重質油が熱分解、重縮合して、ニードルコックスを形成する過程を化学的物理的両面から解明することが必須である。しかし、実験室規模の装置では、商業コーカーの再現が困難なため、反応機構解明の進展が阻害されていた。

本論文は、簡便なコーカーシュミレーターを開発し、重質油からニードルコックスが形成される過程を追跡して炭化反応機構を解明し、ニードルコックス形成に影響する因子を明らかにした。主な成果は次の通りである。

(1) 小型オートクレーブを用いる炭化反応において、昇温速度、炭化の温度・圧力を抑制すれば、生成するニードルコックスの構造、物性は同一原料から商業コーカーによって製造したコックスのそれらに比肩できることを見出し、簡便なディレドコーカーシュミレーターを開発した。この装置を用いて、多種類の

石油系重質油をニードルコックス原料として評価することが可能であることを示した。

(2) 上記のシュミレーターを用いて調製した塊コックスの配向性を偏光顕微鏡下で観測される光学的異方性組織単位のベクトルとして評価し、その軸方向成分とニードルコックスの物性中最も重要な熱膨張係数との間に直線関係を見出し、高品質ニードルコックス調製に際して異方性組織の配向制御の重要性を示した。

(3) 重質油がニードルコックスを形成する炭化過程を偏光顕微鏡によって経時的に観察し、液晶状態の形成、固化時の軸方向への配向の二段階からなることを明らかにした。また炭化過程を芳香族化合物の重縮合、不溶化過程ならびに固化時のガス発生面の面からも追跡し、前者が液晶の形成と固化時の流動性変化に、後者が液晶構成成分の軸配向に強く影響することを見出した。

(4) 石油系低硫黄減圧残渣油 (LSVR) を種々の温度、圧力で炭化して、ニードルコックス形成に炭化最適温度が存在することを見出した。最適炭化温度では、液晶が発達し、液晶が徐々に固化する過程で、適当量のガスが発生することを明らかにした。さらにこの原料では、炭化管底部に劣質のコックスが形成されることを認め、反応初期に高反応性成分から生成した重縮合物の相分離の結果と解釈し、商業コーカーでの同様の現象の解決に指針を提案した。

(5) 代表的なニードルコックス原料である LSVR、流動接触分解残渣油、キノリン不溶分を含まないコールタールの最適炭化条件を明らかにすると同時に、同炭化条件が各原料の炭化反応性と相関することを、上記反応機構に沿って合理的に説明している。さらに各原料の炭化反応性と構造との相関についても定性的理解をえている。

(6) LSVR を原料とした炭化において、炭化途中の特定時期に、減圧操作を施すことによって生成するコックスの一軸配向性、ひいては熱膨張係数を顕著に改善できることを見出し、バッチ式炭化による良質ニードルコックス製造の指針を呈示している。

以上要するに、本論文は炭化の昇温速度、温度、圧力を抑制することによって、小型オートクレーブを用いて商業ニードルコックスに比肩するコックスの調製に成功し、原料油の簡便な評価が可能であることを示した。さらに炭化過程を経時的に詳細に追跡することによって、ニードルコックス形成の機構を解明して、影響する因子を明らかにした上で、優れたニードル

ークス調製法を具体的に提案している。これらの成果は有機工業化学、炭素材料化学に寄与するところが大きい。よって本論文は工学博士の学位論文に値するものと認められる。

氏名(本籍) 日高節夫(宮崎県)
学位記番号 総理工博乙第94号
学位授与の日附 昭和63年9月27日
学位論文題目 新しい酸触媒機能をもつ鉄担持ゼオライトの開発とそのキャラクターイゼーションに関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 山添 昇
(副査) 〃 〃 荒井 弘道
〃 〃 森 永 健次
〃 〃 持田 勲

論文内容の要旨

二度にわたるオイルショック以来、それまで火力燃料として使用されてきた重質油を分解し、付加価値の高い軽質油を製造するプロセスの開発が急がれている。とりわけ石油資源を外国に依存している我国では、このような重質油の軽質化は特に重要な課題である。本研究はこの課題の解決策の一つとして、重質油の水素化分解により灯軽油やガソリン等の中間留分を製造するプロセスに着目し、それに用いる至適触媒の開発を目的として行われたものである。至適触媒としては水素化分解活性が高いことが必要であることは言うまでもないが、さらに重質油の脱硫反応により発生する硫化水素により被毒を受けないことが要求される。本論文は、Y型ゼオライトに金属を担持した多数の触媒についての検討の結果、鉄担持ゼオライトが硫化水素存在下でかえって高活性を示すという新しい酸触媒機能をそなえた優れた水素化分解触媒であることを見出すとともに、種々の分光学的方法による鉄担持ゼオライトのキャラクターイゼーションをつうじて、鉄の担持状態や調製法との関連等を明らかにした研究成果をまとめたもので、以下の8章からなっている。

第1章は諸論で、Y型ゼオライトの一般的性質および鉄担持ゼオライトの触媒作用に関する既往の研究をまとめ、本論文の意義、目的およびその概要を述べた。

第2章では、担持金属種および調製法の異なる種々

の金属担持Y型ゼオライト触媒を調製し、クメン分解反応およびトルエン不均化反応を行い、硫化水素処理により優れた酸触媒機能を示す金属担持Y型ゼオライトを探索した。クメン分解反応活性の硫化水素処理や水素処理による向上は、イオン交換サイトに存在する金属イオンの還元に伴うプレンステッド酸量の増大によるものと理解できた。一方、トルエン不均化反応活性は担持金属の種類や調製法により大きく影響されることを見出し、特にNH₄Yゼオライトを低pH域において硝酸第二鉄水溶液で処理し得た鉄担持Y型ゼオライト触媒(FeHY-1)が高いトルエン不均化活性とともに炭素質析出量も少ないという優れた酸触媒機能を示すことを明らかにした。

第3章では、鉄担持Y型ゼオライトの調製に関する諸因子について検討した。NH₄Yゼオライトの処理に用いる鉄塩水溶液としては、硝酸第二鉄水溶液が最も良い結果を与えることを見出し、この調製法において硝酸第二鉄水溶液の濃度、処理温度、および処理時間の触媒性状に及ぼす影響を詳細に検討した。その結果、触媒性状が触媒調製の諸条件により大きく変化し、硫化水素存在下で最も優れた触媒性能を示す触媒(FeHY-1シリーズ)はFe³⁺イオンが担持される際、ゼオライト骨格からの脱アルミニウムが進行するような条件下で得られることを見出すとともに、この脱アルミニウムはFe³⁺イオンの加水分解により生成するプロトンの作用によるものと推定した。

第4章では、FeHY-1における鉄の担持状態についてFT-IR分光法を用いて検討した。ゼオライト骨格の振動の一つであるTO₄(T:Al, Si)非対称伸縮振動の波数がゼオライトからの脱アルミニウム量や鉄担持量とともに変化することを明らかにするとともに、X線回折により得られた格子定数との相関から、FeHY-1中のFe³⁺イオンはゼオライト骨格に結合しているものと推察した。さらに、還元処理したFeHY-1へのNO吸着実験を行い、Fe²⁺イオンに吸着したNOのIR吸収スペクトルを調べ、Feイオンが二核錯体として担持されていると推定した。

第5章では、FeHY-1中のFe³⁺イオンの担持状態についてESR分光法を用いて検討した。還元処理したFeHY-1のESRスペクトル測定により、Fe³⁺イオンはゼオライト骨格のAl³⁺イオンとの一対一の交換反応により担持されたものではないことを明らかにした。さらに、鉄酸化物中のFe³⁺イオンによるESR

シグナル (g 値 2.3) の測定温度依存性を調べたところ、FeHY-1 中の Fe^{3+} 種は超常磁性を示し、100Å以下の超微粒子であることが示唆された。

第6章では、電子顕微鏡観察およびメスバウアースペクトル測定により鉄担持Y型ゼオライト中の鉄種について検討した。電子顕微鏡観察から FeHY-1 に担持された鉄種は高分散であり、10Å以下の粒子径を有し、673Kでの硫化水素処理および水素処理にてもその粒子径はほとんど変化しないことを明らかにした。FeHY-1 のメスバウアースペクトル測定により、担持された Fe^{3+} イオンのほとんどは6配位であることを明らかにし、液体ヘリウム温度での測定よりゼオライト骨格と結合した Fe^{3+} 種およびゼオライトのスーパーケージ内に生成した鉄酸化物超微粒子の存在が示唆された。硫化水素処理後および水素処理後のメスバウアースペクトル測定により FeHY-1 には特徴的な難還元性の Fe^{3+} イオンが存在し、硫化水素存在下でのトルエン不均化反応中にもほとんど変化しないことを明らかにした。さらに、この難還元性の Fe^{3+} イオンが第4章で述べたゼオライト骨格と結合した Fe^{3+} イオン種であり、これが FeHY-1 の優れた酸触媒機能を発現するものと推定した。

第7章では、FeHY-1 触媒の酸触媒機能の発現には反応雰囲気中の硫化水素の存在が必要であることをトルエン不均化反応実験により確認するとともに、FT-IR 分光法による検討により、反応系内に存在する硫化水素が、前述のゼオライト骨格と結合した Fe^{3+} イオンに吸着することにより酸性質を発現するものと推定できた。さらに、FeHY-1 を用いて常圧残渣油の水素化分解反応を行い、この触媒が硫化水素存在下で重質油からの中間留分の製造に優れた触媒活性を示すことを実証した。

第8章は結論で、本研究の成果を総括した。

論文調査の要旨

重質油の軽質化は、石油資源の有効利用や高付加価値化のための重要課題として、オイルショックを契機に世界的に研究されている。石油資源を海外に依存するわが国では特にその重要度が高い。重質油の水素化分解触媒は、単に水素化分解活性が高いばかりでなく、活性劣化の要因となる炭素質析出が少ないことや、脱硫過程で発生する硫化水素による被毒を受けないことが強く要求される。本論文は、重質油を灯軽油やガソ

リンなどの中間留分へ転換するための水素化分解触媒として、これらの要求に応えうる鉄担持ゼオライト触媒を新しく開発することに成功するとともに、触媒のキャラクタリゼーションを行っている。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

(1) 種々の金属担持Y型ゼオライト触媒を調製してクメン分解反応およびトルエン不均化反応に対する触媒活性を調べ、クメン分解活性が単に触媒のブレンステッド酸量に支配されるのに対し、トルエン不均化活性は担持金属の種類や調製法に大きく依存すること、および水素化分解触媒のスクリーニングにはトルエン不均化活性による評価が適当であることを明らかにしている。

(2) 上記の検討から、 NH_4Y ゼオライトを硝酸第二鉄溶液で処理して得た鉄担持Y型ゼオライト触媒が、硫化水素存在下ではじめて高活性を発現する新しい型の酸触媒であり、またトルエン不均化活性が極めて高いにかかわらず炭素質析出は極めて少ないという優れた特性をそなえていることを見出している。また、実際にこの触媒は Ni-W/アルミナ触媒と組み合せたとき常圧残渣油の水素化分解に高活性を示すことを確認している。

(3) 鉄担持Y型ゼオライトの調製法を詳しく検討し、優れた触媒を得るには、 Fe^{3+} イオンが水溶液中からゼオライトに担持される際、ゼオライト骨格のアルミニウムが一部脱離するような調製条件を設定することが必要であることを見出し、高活性な鉄種の担持と脱アルミニウムとの間に強い関連があることを明らかにしている。また、この脱アルミニウムが炭素質析出の抑制にも好結果をもたらすことを明らかにしている。

(4) 鉄担持Y型ゼオライトの骨格振動と格子定数との相関から、高活性な鉄種はゼオライト骨格に強く結合していると推定し、吸着 NO の IR スペクトルからそれが Fe^{3+} の2核錯体であると推定している。さらに、このような鉄種の生成が上記の脱アルミニウムサイトでおこるものと推定している。

(5) ESR 測定やメスバウアースペクトル測定などから、高活性な鉄種は、単核の Fe^{3+} ではなく脱アルミニウムサイトにクラスターとして沈積した非常に微細な鉄酸化物 (粒径10Å以下) であること、およびこの超微粒子が他の鉄種に比べて難還元性でありトルエン不均化反応条件下でも安定に酸触媒機能を発現することなどを明らかにしている。

以上要するに本論文は、硫化水素存在下で高い酸触

媒機能をもちながら炭素質析出が極めて少ない鉄担持触媒の開発に成功して、重質油の軽質化プロセスの発展を促すとともに、このように優れた酸触媒機能がどのような鉄種によりもたらされるかを種々の分光学的方法により明らかにしたもので、工業化学および触媒化学に寄与するところが大きい。よって本論文は工学博士の学位論文に値するものと認める。

氏名(本籍) 岩淵久克(大阪府)

学位記番号 総理工博乙第95号

学位授与の日附 昭和63年9月27日

学位論文題目 薬用人参成分の化学的研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 竹下 齊

(副査) " " 小林 宏

" " 田代 昌士

" " 稲津 孝彦

論文内容の要旨

人参はウコギ科植物であるオタネニンジン (*Parax ginseng* C. A. Meyer) の根を乾燥、あるいは蒸した後、乾燥して調製したもので、古来漢方材料として単独、あるいは種々の処方に用いられてきた重要な生薬のひとつである。

人参の化学成分については、これまでにサポニン類に関連した成分研究が数多く報告されているが、精油成分に関連した研究は少なく、同成分に含まれる化合物については詳細に検討されていない。

人参はの香気に関して、古く panacene なる一種のテルペン類がその香りの主体であろうと考えられていたが、近年これはセスキテルペンの混合物で、個々の成分はいずれも特有香を持たず、香りの主体は別の微量物質であると言われているが未解明であった。一方、人参の精油成分にはセスキテルペンとして α -panasinsene, β -panasinsene, β -neoclovene 及び α -neoclovene の存在が報告されているが、研究者個々の結果には不一致も多い。このことは、セスキテルペノイドについても同様である。従って、人参の特有香、並びにセスキテルペン及びセスキテノペノイド成分の組成及び構造を解明することは重要である。本論文はこれらの知見について述べたもので第7章から成っている。

第1章は序論で、人参、及びその化学成分に関するこれまでの研究の概要と問題点、そして研究の目的、方法、概要について述べた。

第2章では人参のエーテル可溶性成分の抽出、分画及びセスキテルペン類の分離方法について述べ、以下の章で取扱っている微量、不安定の成分の効果的な分離法を確立した。

第3章では第2章で得られた抽出成分の化学分画によって得られた特有香が、塩基性成分に存在し、メトキシピラジン類がこの塩基成分として重要な寄与をしていることをマススペクトルの解析、及び合成により証明した。その結果、2-*sec*-butyl-3-methoxy-5-methylpyrazine、及び2-isopropyl-3-methoxy-5-methylpyrazine が重要な人参の特有香成分であることを明らかにした。

第4章では人参の既知成分であるセスキテルペン α -panasinsene, β -panasinsene, β -neoclovene, α -neoclovene の外、含酸素部より新たに β -caryophyllene を前駆体とするセスキテルペノイド4種の成分、panasinsanol A, panasinsanol B, ginsenol, isocaryolanediol を単離し構造を決定したことについて述べた。panasinsanol A は天然物としては今回が初めてであり、panasinsanol B, ginsenol, isocaryolanediol は新物質である。特に ginsenol は β -caryophyllene から α -neoclovene が生成する酸転位反応の仮想的な中間体で又、生合成的な中間体でもあった。このものの単離により従来提唱されていた反応機構の妥当性を実証した。

第5章では新たに見出されたセスキテルペノイド、(一) neointermedeol, spathulenol, 4 β , 10 α -aromadranediol の単離確認について述べ、これらの化合物が植物化学分類学的指標として重要であることを示した。

第6章では、第3章～5章で単離され、構造が解明されたセスキテルペン類が、産地、部位、季節の如何を問わず共通した成分であることを明らかにした。次いで、人参とは植物分類上、同じ属にあり、同様に生薬として使用されている類縁の三七(田七)人参、竹節人参、及び広東人参の揮発性成分についてガスクロマトグラフ、及びガスクロマトグラフ—質量分析によって真正人参との化学成分の差を検証した。その結果、panasinsanol A, panasinsanol B, ginsenol、及び neointermedeol は人参にのみ見出される成分であることを

示した。更に α -panasinsene, β -panasinsene, α -neoclovenol, β -neoclovene の含量は類縁生薬の同定に有効であることと共に、人參の品質評価に有用な指標物質となり得ることが解った。

第7章では本論文の総括を述べた。

論文調査の要旨

人參はウコギ科植物、オタネニンジン (*Parax ginseng* C. A. Meyer) の根を乾燥、あるいは蒸した後、乾燥して調製したもので、古来単独、あるいは種々混合して用いられてきた重要な漢方生薬のひとつである。

人參の化学成分については、これまでにサポニン類に関連した成分研究が数多く報告されているが、精油成分に関連した研究は少なく、同成分に含まれる化合物の詳細な検討はなされていない。

本論文において著者は、構造—機能相関の解析の見地から重要な人參の特有成分の組成及び構造について以下に述べる如く注目すべき知見を得ている。即ち

1) 著者の開発した GC-MS 分析計とオンライン化した構造解析システムを人參のエーテル抽出成分の塩基性画分の分析に応用し、得られた特有香氣成分が、メトキシピラジン誘導体であることを見出した。更に別途合成によって、2-sec-butyl-3-methoxy-5-methylpyrazine, 2-isopropyl-3-methoxy-5-methylpyrazine を始め、幾つかの重要な微量香氣成分を同定した。このことから、“パナセン”と称せられる炭化水素が香氣成分であるとの通説を実験的に否定した。

2) セスキテルペンとして α -panasinsene, β -panasinsene, α -neoclovene, β -neoclovene を、含酸素セスキテルペノイドとして4種の成分 *panasinsene* A, *panasinsene* B, *ginsenoside*, *isocaryolanediol* を単離し構造を決定した。これらは β -caryophyllene 前駆体とするセスキテルペノイドであるが、特に、*ginsenoside* は β -caryophyllene から α -neoclovene を生成する *in vitro* 酸転位反応の仮想的な中間体として想定されていたものである。このことにより従来より提唱されていた反応機構仮説の妥当性を実証すると共に、*in vitro* 反応においても同じ機構による変換が起こっていることを示した。

3) セスキテルペノイドに属する (一) *neointermedeol*, *spathulenol*, 4 β , 10 α -*aromadendranediol* を初めて人參成分として検出確認している。そしてこれらの化合物が人參の植物化学分類学的な指標物質とし

て重要であることを示した。

4) これらのセスキテルペン類が、産地、季節、植物部位の如何によらぬ共通成分であることを明らかにしている。更にオタネニンジンとは植物分類学上、同じ属にあり、同様に生薬として使用されている類縁の三七人參、竹節人參、及び広東人參の揮発性成分について、ガスクロマトグラフィー、及びガスクロマトグラフィー—質量分析によって真正人參との化学成分の差を検出し、*panasinsanol* A, *panasinsanol* B, *ginsenoside*, 及び *neointermedeol* は真正人參にのみ見出される成分であることを示した。更に α -panasinsene, β -panasinsene, α -neoclovene, β -neoclovene の含量は類縁生薬の同定に有効であることと共に、人參の品質評価に有用な指標物質となり得ることを示した。

以上、要するに著者は自ら開発した微量精油成分の分析同定法を駆使し、テルペノイドの生合成上重要な新知見を得ており、これらは有機構造化学、天然物化学、有機分析化学のみならず、有機合成化学に対する寄与が大きい。よって本論文は工学博士の学位論文に値するものと認められる。

氏名(本籍) 野田 俊一 (福岡県)

学位記番号 総理工博甲第54号

学位授与の日附 昭和63年11月30日

学位論文題目 プラズマにおけるイオン波の反射特性に関する研究

論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 赤崎 正則

(副査) “ “ 村岡 克紀

“ “ 河合 良信

“ “ 渡辺 征夫

論文内容の要旨

波動加熱は高温プラズマの追加加熱法として、ここ数年著しい成果を収め、核融合プラズマ加熱の有力な手段の一つとなっている。波動加熱を行うには、先ず、アンテナよりプラズマに大電力電磁波を放射し、プラズマの固有モードを励起する必要がある。この際真空容器壁やリミター等の境界での波動の反射が予想され、伝播特性に強く影響を与えるのみならず、これが加熱効率を著しく左右すると考えられる。

波動の反射はプラズマ中の静電波の一つであるイオ

ン音波を用いて研究されてきたが、放電管が小さいために波の励起、伝播等についての十分な理解が得られず、殆ど未解決のままであった。近年、ダブルプラズマ装置の開発以来、大直径の静かなプラズマが得られるようになり、イオン波ソリトンに代表されるイオン波の非線形現象の研究が大いに進展した。最近、イオン波ソリトンの電極からの反射が観測され、反射波の反射電極の材料や構造依存性が調べられたが、イオン波の反射機構は不明のままにされている。このイオン波の反射現象は、境界に形成されるシースと強い係わりを持っているので、シース構造の解明にとっても重要な研究課題である。

本研究はイオン波の反射現象を実験的に調べ、考察を行ったものである。この反射機構には反射電極から実際に反射するイオン粒子が重要と考え、イオン粒子の速度、密度を容易に制御できるイオンビーム・プラズマ系において、実験を行った。

第1章では、これまでの反射現象の概観を行い、本研究の目的と意義を明確にした。

第2章では、流体論と運動論を用いて、外部電荷によるプラズマの線形応答の立場から波の伝播特性を説明した。特に、運動論によりビームのないプラズマとイオンビーム・プラズマ系について、後の章で述べるような実験条件に適合した場合の分散特性と成長率又は減衰率の具体的計算例を示した。

第3章では、パイポーラ型の反射電極を用い、イオンビーム・プラズマ系内のイオン波の反射実験とその考察を行った。このイオンビーム・プラズマ系には固有モードとしてイオン音波とビームモードが存在するため、ビームモードの入射波により反射波としてイオン音波とビームモードが観測される。このときの反射特性をビームのないプラズマと比較、検討した。入射波と反射波の位相軌跡の交点として得られるイオン音波の反射点の観測から、イオンビームがある時は、イオンビームがない時に比べ、イオン音波の反射位置は電極に近付き、反射はビームがない時と同様プラズマ中心密度の約70%の位置で起こることが分かった。また、イオンビーム・プラズマ系におけるイオン波の波形変化のコレクタ電圧依存性を調べた。コレクタ電圧による反射波の波形から、コレクタ電極の電圧によってプラズマのイオン粒子が反射される時イオン音波は反射され、またビームのイオン粒子が反射される時ビームモードも反射される結果が得られた。これらの

実験結果、すなわち反射位置と反射の条件からイオン波の反射機構の定性的な説明を行った。さらに、イオン音波の反射現象と密接な関係を持つと考えられる励起現象の実験とその考察を述べた。実験において、単一パルスの正弦波によってプラズマ中にグリッド励起されるイオン音波の応答波形は、正と負に振動するパルス波形であった。この結果を外部電荷によるプラズマの線形応答の立場から説明した。グリッドに十分低周波のパルスを印加すると、分散及びランダウ減衰が無視でき、印加パルスの微分形がプラズマ中を伝播する結果が導かれ、実験結果の定性的な説明が得られた。また、印加パルス幅と励起されるイオン音波の振幅の関係から、最も励起され易いパルス幅があり、計算と実験の良好一致が得られた。

第4章では、イオン波の反射係数の周波数依存性を実験的に調べた。ビームのないプラズマでは、イオン音波モードの入射波により得られる同モードの反射係数は干渉波形から観測できる。その結果、イオン音波モードの反射係数はイオンプラズマ周波数 (f_{pi}) で規格化した周波数 $f/f_{pi}=0.3\sim 0.4$ にゆるやかな最大値 $R_{max}=0.8$ を持つことが分かった。一方、イオンビーム・プラズマ系では干渉法による測定ができなため、入射ビームモードに対するイオン音波とビームモードの反射係数を入射波のパルス幅をパラメータとして、それぞれ測定した。その結果、ビームモードの反射係数は、周波数に依存せず一定 ($R=0.3$) であった。ところがイオン音波モードの反射係数はビームのないプラズマと等しい特性が得られた。

そして最後に、本研究の総括及び今後の研究方針を第5章で述べた。

論文調査の要旨

磁界閉じ込め方式の高温プラズマを加熱する方法として、中性粒子入射法とともに波動加熱法が用いられている。これは、アンテナよりプラズマ中に放射された電磁波のエネルギーをプラズマ粒子に吸収させる方法である。ところで、プラズマ中の波動の伝播については理論的にも実験的にも明らかにされているが、プラズマ容器壁やリミタ等からの反射現象に関しては充分解明されていない。このため、実際に波動加熱を行うための装置の設計、特に反射物体の構造や材料の選択は経験に頼ることが多い。

最近開発されたダブルプラズマ装置は、従来の放電

管に比べて大容積のプラズマが容易に実現できるとともに、一方のプラズマを励起用として他方のプラズマ（ターゲットプラズマ）中に波動を励起させることが可能で、イオン音波ソリトンの非線形現象の研究に利用されてきた。

本研究は、ダブルプラズマ装置が上記の反射特性の解明に利用できることに着目して、ターゲットプラズマ中にバイポーラ型電極及びグリッドを設置して、励起用プラズマからイオンビームを入射したときの反射現象を詳細に研究した結果をまとめたもので、以下の成果を得ている。

1. プラズマ中のイオン波の伝播特性を流体論と運動論を用いて解析している。前者は計算が比較的容易で波動の分散特性の理解に便利で、後者は計算は複雑になるがプラズマ粒子の速度分布関数から伝播波形の考察が可能であることを指摘している。その結果、本研究の実験条件に適合したイオンビーム・プラズマ系での波動の分散特性と成長率又は減衰率を定量的に示すことによって、イオン音波の他にファストとスローの二つのビームモードが伝播することを明らかにしている。
2. ターゲットプラズマ中にバイポーラ型の反射電極を設置して、イオン波の反射の実験を行っている。先づビームを含まないイオン音波のみを入射した場合の反射波はイオン音波であること、及びこのイオン音波の反射点より電極に近い位置でイオンシースに吸収される小振幅の透過波が観測されることから、バイポーラ型電極が高効率の反射特性を有することを初めて明らかにしている。次に反射電極のコレクタ電圧 (V_c) を充分に高くした状態でイオンビームを入射すると、イオンビームは反射されてターゲットプラズマ内には対向イオンビーム・プラズマ系が形成されることを見出している。この対向イオンビーム・プラズマ系では、イオン音波とビームモードの反射波が存在し、イオン音波の反射はプラズマ密度が中心での密度の70%の点でおこるのに対して、ビームの反射は反射電極のグリッドの位置でおこることを示している。
3. 反射電極の V_c による波の励起条件を調べている。コレクタによってプラズマ中のイオンが反射されるとイオン音波が励起され、ビームのイオンが反射されるとビームモードが励起されることを明らかにし、このことをイオンシース内の密度分布とイオンのドリフト速度の勾配を用いて説明している。すなわち対向イオンビーム・プラズマ系の分散特性を数値計算した結果、

シース内のイオン密度が中心の約70%の位置で波の成長率が最大になることから、この位置での不安定性によって反射が生じることを導いている。

4. ターゲットプラズマ内のバイアスされたグリッドにパルス電圧を印加してグリッド励起の実験を行っている。グリッドに低周波パルスを印加してパルス幅が f_{pi}^{-1} (f_{pi} はイオンプラズマ周波数) より広いイオン音波を励起すると、励起波は印加波の微分形になって正と負に振動する波形となることを実験と理論で確認している。一方、パルス幅が狭くなるとランダウ減衰が強くなり、パルス幅を広くすると励起効率が低下することから、パルス幅によって励起されやすい値があり、 $k\lambda_e=0.7$ (k : イオン音波の波数, λ_e : 電子デバイ長) のとき最大の励起効率になることを導き、この値は音波及びファスト、スローの三つのモードに共通していることを示している。
5. イオン音波の反射係数の周波数特性を研究して、ビームモードの反射係数は周波数に依存しないこと、一方、イオン音波の反射係数は f_{pi} の0.3~0.4倍の周波数で最大になることを確かめている。

以上要するに、本論文はこれまでに解明されていなかったイオン波の反射現象に関して、理論と実験の両面から詳細に検討を行って、反射波に三つのモードが存在することを示すとともに、これらの反射波の励起・伝播の機構を明らかにして、プラズマの波動加熱法の開発に有用な指針を与えたもので、プラズマ工学に寄与するところが大きい。よって本論文は工学博士の学位論文に値するものと認められる。

氏名(本籍) 白川晋吾(広島県)
 学位記番号 総理工博乙第96号
 学位授与の日附 昭和63年11月30日
 学位論文題目 酸化亜鉛系の避雷器に関する研究
 論文調査委員

(主査) 九州大学 教授 赤崎正則
 (副査) 〃 〃 齋藤省吾
 〃 〃 村岡克紀
 〃 〃 原雅則

論文内容の要旨

電力輸送の信頼性の向上や電力設備の環境との調和の見地から、送変電設備の絶縁信頼性の向上及び機器

の小型縮小化が特に求められ、これらに関する技術開発が行われている。このようなニーズにより過電圧を抑制する機器として、避雷器への期待が高まっている。一方、送変電機器の密閉縮小化が進められており、SF₆ガス絶縁による接地容器内収納のガス絶縁開閉装置の普及により、これに適合できる避雷器やガス絶縁中性点接地抵抗器が必要とされる時代となってきた。

また、避雷器の使用される用途も従来の変圧器保護用だけではなく、近年は、ガス絶縁開閉装置、交直変換所、さらに送電線の鉄塔上にも設置されて、過電圧保護装置として使用される時代を迎えるようになった。

以上のような状況下において、これらの要求を満たす避雷器開発における技術的ブレークスルーを可能にしたのは、その特性要素として、酸化亜鉛系セラミックス抵抗体素子を応用したことにある。本論文は酸化亜鉛系の避雷器の開発とその実電力系統への適用成果についてまとめたものである。

第1章は、序論であり、酸化亜鉛系の避雷器に関する研究の背景と現状について述べ、本研究で解決すべき課題点を明らかにし、さらに、本研究の意義と要約について述べた。

第2章では、主に発電所で使用される酸化亜鉛形避雷器に関する動作原理について、酸化亜鉛素子の微細構造と導電機構をベースにして説明し、従来の直列ギャップ付避雷器と酸化亜鉛形避雷器との比較を述べた。さらに、酸化亜鉛形避雷器の改善点として、酸化亜鉛素子の微細構造と寿命の関係において、従来の酸化亜鉛素子では酸化亜鉛粒子の境界層部分に酸化ビスマスの厚い相と酸化ビスマスを含まない相とが共存していたのに対し、酸化ビスマスを含んだ薄い境界層を熱処理により酸化亜鉛粒子の境界層の全周に亘って形成させることで、高寿命化を図ることができることを述べた。さらに、同心状分割形金属シールドによるガス絶縁開閉装置用避雷器の酸化亜鉛素子間の電位分布の改善方法、酸化亜鉛素子がエネルギーを吸収したときの酸化亜鉛素子の挙動及び短時間交流過電圧特性について述べた。

第3章では、交直変換所で使用される交直変換所用直列ギャップ付直流避雷器の動作原理、及び、避雷器動作時における避雷器の直流の統流遮断動作責務に関し、高電圧直流避雷器と分割単位避雷器について、佐久間サイリスタ試験所での実フィールド試験から、直流の統流遮断ができること及び等価性が成立すること

を実験的に検証した結果について述べた。さらに、交直変換所用直流避雷器に酸化亜鉛素子を適用し、交直変換所用直流酸化亜鉛形避雷器としての適用及び課題点について述べた。

第4章では、社会の高度情報化への進展に伴い、送電の質的向上の一つの対策として、落雷に伴う送電線の瞬時電圧低下や停電を防止するために、110kV送電線の鉄塔上に送電線用避雷器の構成、送電線の懸垂碍子連と送電線用避雷器との雷インパルスに対する絶縁協調、碍管表面汚損時の避雷器と懸垂碍子連との汚損耐電圧協調、さらに、万一過大なサージなどによる避雷器不具合の場合にも電力線から避雷器の切り離しができ、送電が継続できる送電線用避雷器の切り離し装置の有用性、等について述べた。本送電線用避雷器の実用化により、送電線の雷害事故の低減を図ることができることを示した。

第5章では、酸化亜鉛形避雷器の適用により避雷器の予測保全技術が期待されており、これに 대응できる避雷器用可搬式漏れ電流測定器について述べた。従来の避雷器漏れ電流測定では、避雷器の接地線を開放して電流計を挿入していたのに対し、避雷器の接地線を開放することなく運転状態において、避雷器の全漏れ電流及び抵抗分電流の測定ができるようにした。酸化亜鉛素子は劣化すると抵抗分電流が増加するが、これは第3高調波電流成分の増加として現れる。具体的には避雷器の接地線にクランプ形の漏れ電流測定用変流器を挿入して全漏れ電流を検出し、かつ、バンドパスフィルタを介して第3高調波を取り出すことにより、抵抗分電流が表示できるようにした。さらに、この避雷器用可搬式漏れ電流測定器を用いて、266kV酸化亜鉛形避雷器の漏れ電流実測を約2年に亘って行い、避雷器の有効性と信頼性を確認することができた。

第6章では、酸化亜鉛形避雷器の開発技術をさらに発展させて、新たに開発した酸化亜鉛系のセラミックス抵抗体素子の特性、及び、このセラミックス抵抗体素子を応用した電力用変圧器の中性点接地抵抗器について述べた。中性点接地抵抗器は、主に66～154kVの電力系統で万一系統が地絡したとき、一線地絡電流を抑制するために使用されているものである。従来は金属性のグリッド抵抗器を複数個接続し、金属箱内に収納して碍子で絶縁した中性点接地抵抗器が主として使用されていた。このため、抵抗体の発錆と腐食の防止、活線洗浄の簡易化、据付面積の縮小化、等の課題

があったが、セラミックス抵抗体式中性点接地抵抗器を実用化することにより、これらの問題を解決した。

第7章では、本研究で得られた成果についてまとめ、さらに今後の課題を述べて総括とした。

論文調査の要旨

最近の電力需要の増大によって、発電所設備や送電設備は大容量・大型化の傾向を辿っているが、電力設備の経済性と環境との調和の見地から、機器の小型・縮小化が求められている。電力機器の寸法は、絶縁レベルにしたがって雷に対する避雷器の制限電圧によって決定される。従来の避雷器は常規電圧を遮断する直列ギャップと続流に対する非直線抵抗要素の直列構造のもので、送電圧の上昇と共に大型化が避けられず、超々高圧送電線建設の障害になっていた。最近、低電圧回路の避雷器用として開発された酸化亜鉛系セラミックス抵抗体は優れた非直線抵抗体で、高電圧系統の避雷器への応用が試みられている。

本論文は、酸化亜鉛系セラミックス抵抗体の製造法を改良して、高電圧の交流発電所、交直変換所及び送電線用として適用可能な抵抗素子を製作するとともに、これらを用いた高電圧系統の避雷器の開発に関して行った研究をまとめたもので、以下の成果を得ている。

1. 酸化亜鉛素子は製造法特に冷却速度の制御によって種々の性能のものが得られることを示している。高電圧系統の避雷器に適するものは、粒径約 $10\mu\text{m}$ の低抵抗の酸化亜鉛 (ZnO) 粒子の周囲を、添加物を主体とする約 $0.1\mu\text{m}$ の高抵抗酸化物層 (主として酸化ビスマス： Bi_2O_3) が取り囲み、これを介して ZnO の粒子が立体的に接続された構造であること、この境界層部分が優れた非直線性の電圧—電流特性を有することを見い出している。避雷器の動作としては、常時運転電圧は電圧—電流特性の低電界領域で遮断し、雷サージは高電界領域で大地に通過させるので、従来の直列ギャップ付避雷器の欠点であった続流を遮断できることを示している。また、酸化亜鉛素子の微細構造と寿命の関係の研究した結果、立方晶の γ 形 Bi_2O_3 を含んだ薄い層が ZnO 粒子の全周に形成されるように熱処理を行うことが課電寿命の安定化の必要条件であることを見出し、以前の酸化亜鉛素子に比べて2桁以上の課電寿命を持つ素子の製造を可能にして、避雷器への適用に成功している。

2. ガス絶縁開閉装置用酸化亜鉛形避雷器では、酸化

亜鉛素子と避雷器用タンク間の漂遊容量により電位分布が影響を受けることを指摘し、これを防止するために電位分布補正用同心状分割形シールドを開発している。これにより、酸化亜鉛素子間の電位分布を平均電位分布の最大1.1倍以下に抑えることを可能にしている。その結果、従来の直列ギャップ付500kV系統用避雷器に比較して、容積と重量は約45%に、部品点数は約30%に縮減している。

3. 交直変換所で使用される高電圧直流避雷器は、常規印加電圧が高く制限電圧は低いという厳しい条件と続流遮断が困難なため小型化が困難であった。著者は、直列ギャップを除くとともに、素子間の分流を考慮した酸化亜鉛素子の並列使用法を考案して制限電圧の低下と続流遮断の方法を開発している。

4. 異常電圧による送電線の地絡事故は、瞬時電圧低下や停電の原因となり、最近の情報化社会では特に重要な問題になっている。著者は酸化亜鉛系セラミックス避雷器が直列ギャップを必要とせず小型化に適している利点を活用して、これを110kV送電線の懸垂碍子連と並列に接続する地絡事故防止法を実用化している。

5. 酸化亜鉛素子を用いた避雷器は直列ギャップがないので、漏れ電流により素子が劣化する恐れがあり、その劣化度を常時測定する必要がある。著者は劣化が進むと抵抗分漏れ電流の第3高調波成分が著しく増加することを見出し、これをクランプ形のシールド付漏れ電流測定器により監視するシステムを開発している。この装置は可搬型で、電界強度 $10\sim 90\text{V/cm}$ の場所でも静電誘導を受けることなく実用に供し得ることを示している。

6. 酸化亜鉛系素子の製造法を工夫して、 ZnO 粒子周囲の非直線性の境界層をなくすことにより、抵抗率が $1\sim 10^3\Omega\cdot\text{cm}$ で、直線性の電圧—電流特性を有する新しいセラミックス抵抗体を開発している。これを用いて従来からの課題であった発錆と腐食に耐える中性点接地抵抗器を実用化し、活線洗浄の簡易化、据付面積の縮小化を実現している。

以上要するに本論文は、酸化亜鉛系セラミックスの製造法を改良して、ギャップレス避雷器及び中性点抵抗器用に適した素子の開発を行い、電力系統の発電所及び送電線の避雷器、並びに電力用変圧器の中性点抵抗器の性能を飛躍的に向上せしめたもので、電力工学に寄与するところが大きい。よって本論文は工学博士の学位論文に値するものと認められる。