

# 火力発電の技術動向

## Technical Trends of Fossil Fuel Power Plants

21世紀を目指す電気事業を取り巻く情勢は、産業構造の変化と需要の伸び率の鈍化の中で夏季ピーク負荷の先鋭化と負荷率の低下、各種エネルギー間の競争の顕在化など大きな潮流の変化の中にあつて、電力のセキュリティとコストのバランスに加えて、高度情報化社会に対応したクオリティの確保が必要とされている。火力発電の課題は、燃料の多様化として環境面を配慮した石炭利用、LNGの高効率利用及びDSS運用を含めた運用の高度化であり、既設経年火力の高機能化改造、余寿命診断技術の確立なども重要である。これらの新技術を本火力新技術特集号で取り上げたが、本稿ではその背景となる社会的ニーズと、これに対処している日立製作所の火力の一般的技術動向を紹介する。

山地康博\* Yasuhiro Yamachi

### 1 緒言

社会生活及び産業活動の基盤となる電力産業は、脱石油によるセキュリティとコストとのバランスを配慮した最適エネルギー需給構成(ベストミックス)の達成に加えて、高度情報化社会の要請にこたえるべくクオリティの向上を目指し、よりいっそうの高度化が要請されているが、このような状況のもとに、火力発電技術の研究開発へのニーズは昭和60年8月に発表された「新時代に対応した火力発電の基本的方向」<sup>1)</sup>や、昭和61年の「電気事業の21世紀ビジョン」<sup>2)</sup>に明確に方向づけられている。

本「火力発電新技術」特集号では、日立製作所でのこれら火力発電のニーズに対応した重点テーマの技術の詳細を取り上げたが、本論文ではその背景となる社会的要請を主に述べるとともに、これに対応した日立製作所の技術動向の概況について紹介する。

### 2 火力発電を取り巻く社会情勢

#### (1) 火力発電用燃料価格の動向

火力発電にとって最も基本的な燃料の価格が、昭和60年末以来激変している。第二次石油危機以降上昇し続けた原油のCIF(Cost, Insurance and Freight: 貨物運賃保険料込み)価格は、昭和57年度の平均5円77銭/1,000kcalをピークに、60年度初めまでは緩やかに下落してきたが、サウジアラビアが相応のシェア確保に踏み切った60年末から下落の度合いが大きくなり、61年8月、9月は10ドル/バレル台で更に円高の効果も加わり、1円7銭/1,000kcalとピーク時の20%以下となった。

昭和62年2月のOPEC(Organization of Petroleum Exporting Countries: 石油輸出国機構)の減産合意による18ドル/バレルへの固定価格実施により、価格は1円75銭/1,000

kcalまで反騰しピーク時の30%となっている。

OPECは、昭和62年3月中旬に1,580万バレル/dを1,400万バレル/dにまで減産して、この固定価格の維持に努めている。

LNG(液化天然ガス)価格は昭和55年以降59年まで燃料換算で原油価格よりも安かったが、60年3月以降の原油価格の急落によって逆転したため、LNG価格の切下げ交渉が行われている。今後もLNG価格はほぼ原油価格にリンクするものと予想される。

輸入一般炭のCIF価格も昭和57年度の2円46銭/1,000kcalをピークに原油と同様に低下し、61年末には、96銭/1,000kcalとピーク時の約40%となっている。

油炭格差はピーク時よりも減少してはいるが、現在でも熱量換算で石炭は原油の約55%であり、まだまだ石炭のほうが有利である。

前述したように、OPECの固定価格の維持は200万バレル/d程度の減産により達成されているものであり、原油価格の今後の高騰を避けるためにも、今後とも脱石油の努力が必要であり、原子力発電の推進とともに、火力電源としては燃料の多様化の推進として、環境対応を図りながらの石炭利用拡大、及びLNGの高効率利用が課題となる。

ちなみに、200万バレル/dの原油を発電に利用した場合、発電熱効率を38%、利用率を70%とすれば約7,500万kW相当である。昭和61年末での世界の原子力発電設備の容量は2億7,697万kWであり、世界の原子力発電規模が、もはや相当の大きさに達していることが分かる。

我が国でも昭和61年度末の原子力発電設備容量は2,568万kWであり、石炭火力1,169万kW、LNG火力2,923万kWを加算すれば、6,660万kWと脱石油の努力の成果が見られる。このような脱石油、省エネルギーの努力の成果を反映して、我

\* 日立製作所電力事業部

が国での61年の原油輸入量は1億9,451万klと前年比1.9%減で、45年以降最低の水準となっている。

## (2) 火力電源のベストミックス化への対応

急激な円高、貿易摩擦と産業構造調整の進展に伴う電力需要の低迷を考慮して策定された昭和62年度の電力の施設計画<sup>3)</sup>、電力長期計画によれば昭和62年度から71年度までの10年間の新電源開発量は、61年度計画よりも約500万kW減少して合計5,505万kWであり、このうち火力は2,599万kWで47%と最も多く、原子力は2,215万kWで40%、水力は691万kWで13%となっている。

火力の内訳は表1に示すとおりで、ベストミックス化への対応として、石炭火力の増加、LNGの高効率利用及びミドル運用性向上のため、高性能ガスタービンを主機とするコンバインドプラントの本格的な導入が計画されている。

石油火力の新設は、昭和64年運開ユニットをもって終わり、それ以降の新設は中止されている。

一方、火力電源の休廃止容量は昭和62～71年の10年間で石油火力607万kW、石炭火力180万kWで合計787万kWが予定されており、新開発量の約30%に及んでいる。

火力発電設備は高度成長期の昭和40～49年の10年間で4,700万kWが建設されており、これらの経年火力が順次高性能ユニットにリプレースされる傾向にあり、電力需要の伸び率が低くても、昭和70年代の10年間ではリプレース需要だけでも現在と同レベル程度の2,500万～3,000万kWの火力電源の新規開発が必要になるものと考えられる。

西暦2030年の火力電源の構成では、ほとんどの石油火力は廃止され石炭火力、LNG火力にリプレースされる計画となっている。

表1 新規火力電源開発計画(昭和62～71年の10年間) 石炭とLNGの脱石油化がいっそう推進され、LNGの高効率利用のためコンバインドプラントが導入されている。

種類	容量 (万kW)	容量比率 (%)
石油火力	257	10
石炭火力	920	35
LNGコンベンショナル火力	859	33
LNGコンバインドプラント	507	20
地熱	56	2
合計	2,599	100

注：略語説明 LNG(液化天然ガス)

## (3) 火力電源の運用の高度化

電源構成に占める原子力の比率の増大と夏季最大電力の増加、昼夜間電力需要の格差の拡大に対応して、系統全体の総合的な効率的運用を図るため火力電源の負荷調整機能のいっそうの高度化が必要となっている。

表2 電力系統の構成の変化 夏季最大電力は増加するが、火力の分担する発電量の比率は低下し、火力電源の低利用率化が進む。

項目	単位	昭和61年度	昭和71年度
原子力発電量比率	%	27	37
火力発電量比率	%	60	51
夏季最大電力	万kW	11,054	14,884
夏季供給力	万kW	12,527	16,341
系統年負荷率	%	58.9	56

例えば、現在夏季の夜間電力は昼間の最大電力の約45%であるが、この割合が今後続くものとし、かつ原子力が昼夜間とも一定の運用とすると、火力電源は昼間の出力に対し、夜間出力は昭和65年ごろは30%以下、70年ごろは25%以下に絞る必要があり、石油火力、LNG火力のDSS運用(毎日起動・停止運用)が大幅に実施され、また石炭火力についても負荷調整能力が必要とされる。このため、現在建設中又は計画中の火力設備はDSS運用ができるように新技術を採用した設計となっているものが多い。また、既設の火力設備についても中小容量のDSS運用に加え、600MW級のユニットを対象にしてボイラ設備を中心に大幅なDSS化工事が進められている。改造のポイントは新形の起動弁、給水ポンプの再循環弁の採用、本体の熱応力が発生する箇所の全般的な改良による耐力強化、デジタル制御技術による操作性と制御性の改善、厚肉耐圧部の寿命監視装置の設置などである。

現在は改造コストの面からボイラ本体は定圧のままDSS化を行う方式が主であるが、火炉壁を取り替えスパイラル化した変圧運転ボイラへの転換のほうが、よりDSS運転操作が容易であるため、低コストでこの方式を実現できるように既設各ボイラの特性に合わせた検討を行っている。

## 3 最近の火力新技術

最近、実際にプラントに適用された新技術及び開発の完了した新技術のうち、本特集号で取り上げないテーマの幾つかを紹介する。

(1) 昭和60年10月に運開した北海道電力株式会社苫東厚真火力発電所納め2号機600MW蒸気タービンは、最終段翼に初めて40in長翼を採用したTC4F-40 3車室機で、蒸気条件は246 kg/cm<sup>2</sup>ゲージ圧、538℃/566℃、真空度735mmHgで設計され、従来の33.5in翼を採用したものに比べて熱効率は約2%(相対値)向上している。

なお、本タービンでは50Hz、600MWの大容量機として初めて高中圧タービン車室を一体化し、低圧2車室と合わせ合計3車室のコンパクトな設計となっている。

蒸気タービンの大容量化と効率向上のため、最終段長翼の開発に積極的に取り組んでいるが、昭和60年に開発した1,500

表3 最新油専焼ボイラの特長 運用性の向上で、建設費の低減が図られている。

項 目	単 位	中部電力株式会社 尾鷲三田火力発電所	従 来 機
負 用 負 荷 帯	—	ピーク	ミドル/ピーク
ボ イ ラ 形 式	—	変圧ベンソン	変圧ベンソン
起 動 時 間 (ホットスタート)	min	90	120
負 荷 変 化 率	50 % ~ 定 格	% / min	5
	25 % ~ 50 % 負 荷		3
最 低 負 荷	%負荷	10	20
ボ イ ラ 補 機	押 込 通 風 機	容量×台数	100%×1
	空 気 予 熱 器		50%×2
耐 圧 部 薄 肉 化	材 質	火STPA27	STPA24
主 蒸 気 管	直径×肉厚(mm)	508.0×78	596.9×122

rpm用の52in翼に加え、1,800rpm用の52in翼も昭和61年に完成した。また、3,600rpm用40inのチタンによる長翼も中部電力株式会社と共同研究で開発を行った。

(2) 昭和62年6月に運開した、中部電力株式会社尾鷲三田火力発電所納め3号機500MW油専焼ボイラ設備は、次のような画期的な運用の高度化と、利用率の低いピーク火力としての経済性を目標として設計製作されたものである。

火STPA27は、9Cr改良材で超々臨界圧プラント用として開発されたものであるが、そこで開発された材料や設計法を従来の蒸気条件の火力プラントに適用しDSS化に耐え、高信頼性を実現するため活用している。

(3) 日立-NRバーナの実用化

微粉炭燃料バーナで画期的な低NOx(窒素酸化物)化を図った日立-NR(NOx-Reduction)バーナは、昭和61年度の日本機械学会の技術賞を受賞した。本バーナは、一つの火炎内に脱硝領域を取り込んだ点が特徴となっており、61年に富山新港共同火力1, 2号缶(200MW)で既設バーナをNRバーナに取り替えたところ、その効果としてNOx低減率約50%程度が得られ、更に注目すべきことは、微粉炭粒度の向上により未燃分だけでなくNOxも同時に低減する傾向を示し、従来のバーナが低NOx化のために燃焼を抑制する方向であったことと全く異なる原理で低NOx化を図った本NRバーナのメリットが見られた。この改造により、排煙脱硝でのアンモニア消費量を約80%低減させることができ、大きな経済的な効果も得られた。

日立製作所では本バーナを今後の大容量石炭ボイラのすべてに採用する方針で、石炭特性に対して必要なNOx値、灰中未燃分を達成するための本バーナを備えた火炉の設計手法を確立することができた。

(4) 微粉炭燃焼ボイラの技術開発

現在、中間負荷運用微粉炭燃焼火力の運用性向上のための

表4 石炭火力と油・ガス燃焼火力の運用性比較 石炭火力の増加に伴い、石炭火力の運用性の向上が課題となっている。

項 目	現状油・ガス 燃焼火力	現状石炭火力	中間負荷石炭 火力(目標値)
起 動 時 間 (ホットスタート： 点火-全負荷)	90~170分	300~360分	120分
負 荷 変 化 率 50~100%負荷	5~7%/分	1~1.5%/分	5%/分
最 低 負 荷	10~20%	30~40%	30%以下

技術開発の項目は次のとおりであり、運用性能の目標値は表4に示すとおりである。

- (a) ミル動特性の改善
- (b) ボイラ動特性の改善
- (c) 燃焼安定性向上
- (d) ビンシステム
- (5) 火力用環境システムの技術開発
  - (a) 脱硝装置

昭和52年からLNG燃焼用粒状触媒が実用化されて以来10年を経過しているが、現在は石炭燃焼、高ダスト用板状触媒も実用化されている。石炭燃焼の場合はダスト対策としてピッチの適正化を図るとともに燃焼ガス中の多様な成分による触媒性能の劣化防止の対応を行っている。また、この間触媒の経時性能管理手法を確立し、経済的な触媒の積み増しによる性能回復が可能となった。脱硝装置は国内向け41基に加え、海外向け18基を数えるに至っており、今後ともヨーロッパ諸国の石炭火力や米国の大形コージェネレ

ーションプラントに需要の安定した増加が見込まれている。このため、昭和62年4月にバブコック日立株式会社安芸津工場に年産3,000m<sup>3</sup>(約200万kW相当)の新鋭脱硝触媒専門工場を建設した。

#### (b) 脱硫装置

昭和49年に湿式石灰石-石こう法の1号機を納入して以来、吸収塔、冷却塔の低圧損化・高性能化に取り組んでいるが、従来のシステムをいっそう簡素化し、設備を合理化するとともにユーティリティの低減を図ることを目的として、除じん塔、吸収塔及び酸化塔の機能を一塔に集約したインテリジェント形脱硫システムの開発を行い、昭和65年運開予定の電源開発株式会社松浦火力1号機1,000MWユニットに納入予定である。

本方式は下部タンク内に空気吹込みを行い、化学反応速度を速め95%と高い脱硫効果が得られるとともに、消費電力が約10%低減するメリットを持っている。

本技術は、既設脱硫装置の改善にも適用可能である。

#### (c) 集じん装置

移動電極式集じん装置を昭和59年に中国電力株式会社水島発電所1, 2号石油ボイラから石炭ボイラへ転換時に適用して好成績を取めたが、更に60年常磐共同火力株式会社勿来発電所4号ボイラのCWM(石炭高濃度水スラリー)の実証試験にも適用し、性能、スペース、コスト面で優位性が実証された。更に、大容量ボイラへの適用拡大を目指して、集じん極の約1.5倍の大形化と構成部品の耐力向上開発を完了している。

ばいじん量のいっそうの低減に画期的な高性能を発揮する湿式集じん器は、昭和60年以来東京電力株式会社横須賀火力発電所2号機に採用されているが、更にコンパクト化を図るため、ガス速度の高速化のテストを自社内の大形湿式モデルで実施中である。

石炭火力の増加に伴い、高性能、低コストの環境装置へのニーズが国内外でも高まっており、総合排煙処理システムの高度化への努力を重点的に行っている。

## 4 高性能複合発電プラント

日立製作所では昭和56年4月に我が国最初の大形ガスタービンを主体とした排熱回収形複合発電プラントをJR東日本、川崎火力発電所1号機に納入し、既に6年間の運転実績を蓄積し貴重な運転、保守基準を確立することができた。

本プラントは毎日1回の起動・停止を行い、1日の平均運転時間は、15.4時間となっている。その運転実績は表5に示すとおりである。

特記すべきは納入後の2年間で燃焼器の信頼性向上のため、燃焼振動の低減を図った燃焼器の開発、セラミックス遮熱コーティングの採用などを実施したことによって、定期検査を除く燃焼器点検などの年間計画停止時間が、当初2年の平均364時間からその後の4年の平均54時間へと、年に1回の燃焼器だけの点検に大幅に減少している。ガスタービンの第一段動翼は高温と遠心力により最も過酷な運転条件となる部品であり、昭和61年度の精密点検結果に基づき運転時間3万時間

表5 JR東日本川崎発電所1号機6年間の運転実績 毎日起動停止と苛酷な運転にもかかわらず事故停止率は低く、良好な実績となっている。

項目	期間	昭和56年4月～62年3月
発電日数		1,876日
起動回数		1,885回
発電時間		28,846時間
発電電力量		3,079GWh
運用発電端効率		38.3%
事故停止時間		315時間
事故停止率		0.7%
起動成功率		98.6%
定期点検回数		6回

を超える62年度の定期点検時に取り替える予定である。

既納川崎発電所の複合発電プラントのガスタービンのタービン動翼入口ガス温度は1,000℃級であるが、現在試運転中又は製作中の日立-GE(General Electric社)モデルE又はEA形では、1,100℃級となっており、プラント効率は約43%(高位発熱量基準、LNG)となっている。

ガスタービンの入口ガス温度の上昇は、一方ではNO<sub>x</sub>の発生量の増加を伴うため、従来は水又は蒸気を燃焼器内に噴霧することで対応してきたが、日立製作所ではGTD(Gas Turbine Technology Development)センターで実圧、実寸燃焼器の低NO<sub>x</sub>化開発を行い、拡散燃焼と予混合燃焼方式の組合せによってNO<sub>x</sub>値を約50%低減させることに成功し、昭和65年運開予定の中国電力株式会社柳井火力発電所1号機700MWプラント用に採用する方針である。

環境の適合性に優れたLNGは一面では高価であり、よりいっそうの高効率化が望まれているが、日立-GEの最新モデルF形ガスタービンは、タービン動翼入口ガス温度が1,260℃と上昇しており、プラント効率約45%となる高性能複合発電プラントを構成することができる。

また、単機出力も1.7倍と大容量化しており、ガスタービンと蒸気タービン各1台の組合せで60Hz用では約200MW、50Hz用では約300MWとなる。

本F形ガスタービンの初号機は、現在GE社で工場試運転中であり、昭和63年8月に米国バージニア電力会社向けに出荷され、1年後に営業運転に入る予定である。

1,100℃クラスの大容量複合プラントとして、日立製作所が主機の据付け、補機配管などの製作を担当した東京電力株式会社富津火力発電所1,000MW2号系列は現在順調に試運転中であり、7軸中の最初の1台は昭和62年末に、また全プラントとして63年末に運開の予定となっている。

表6 ガスタービン入口ガス温度1,100℃と1,260℃の性能比較 (LNG, 高位発熱量ベース) 効率の向上とともに大幅な容量の増加が図られている。

項	目	単 位	EA形	F 形
ガスタービン	出 力	MW	80	135
	効 率	%	28.7	29.8
	入口ガス温度	℃	1,104	1,260
	圧 縮 比	—	12.1	13.5
複合プラント	出 力	MW	119	206
	効 率	%	43.1	45.0

日立製作所では1,100℃クラスの大容量複合プラントの技術開発は現在すべて完了し、高い信頼性とより優れた運転、操作性を持つプラントを設計製作中であり、1,260℃クラスのガスタービンを採用したよりも高性能な複合発電プラントを、日本の国情に合った形で開発すべく鋭意努力中である。

## 5 石炭ガス化複合発電

21世紀の石炭火力の中核として期待されている石炭ガス化複合発電は、よりいっそうの高効率化と優れた環境適合性を同時に達成することを目指したもので、昭和61年度電気事業全体で技術研究組合を結成し、国から200t/d噴流床石炭ガス化複合発電パイロットプラントを受託している。日立製作所では、本パイロットプラントの中で1,300℃クラス13MW石炭ガス化燃料用ガスタービン設備、大形ガスタービン燃焼器試験設備及び保安環境設備を担当し、設計製作中である。

1,300℃クラスのガスタービン技術としては、自主技術によって現在昭和63年末営業運転を目指して25MWガスタービンを製作中であるが、上記の石炭ガス化パイロットプラント用ガスタービンはこの25MW機の相似縮小設計とする方針である。燃料は1,000kcal/Nm<sup>3</sup>と低カロリーであるため、低カロリー燃焼器の開発に全力を挙げて取り組んでいる。

石炭ガス化複合発電の経済性向上のためには、ガスタービ

ンの入口ガス温度のよりいっそうの上昇が望まれる。

1,300℃クラスまでは航空用ジェットエンジンの空気冷却技術を活用したメタルタービン翼で対応が可能であるが、これ以上の温度を目指すためには、セラミックスの利用が必要となる。

セラミックスの利用としては、まず遮熱コーティングがあり、既に燃焼器では実用化されているが、次いで静翼、動翼への適用があり、ムーンライト計画の高効率ガスタービン計画の1,400℃を目指す単段の高温テスト装置で昭和62年秋に実施予定である。

セラミックス静翼の研究開発は、電力中央研究所と昭和58年から61年まで第一期共同研究で常圧高温ガス通気試験を実施したが、更に第二期として、64年まで継続することになっている。本研究では、高温部をセラミックスとし、強度の必要な保持部を金属としたハイブリッド構造を採用している。

石炭ガス化複合発電は広い分野で、それぞれ高度な技術開発が必要であり、日立製作所の火力部門が中心となり社内の総力を結集して、最重点課題の一つとして研究開発に取り組んでいる。

## 6 結 言

21世紀を目指した日立製作所の火力技術開発動向の概要を紹介した。これらの火力の研究開発成果を商用化するためには、信頼性の実証を含めて長期間を要するものが多い。技術開発の成果によって原油の需給が緩み、価格の低下につながった一面もあり、技術開発は我が国のセキュリティのためにもぜひ積極的に推進する必要がある。このため、重点テーマについての国からのサンシャイン計画やムーンライト計画、各種委託研究や電力会社との共同研究などに積極的に参加し、よりいっそうの火力技術の高度化のため、日立製作所、関連グループ各社の総力を挙げて取り組んでいる。

## 参考文献

- 1) 新時代に対応した火力発電懇談会：新時代に対応した火力発電の基本的方向(昭60-8)
- 2) 電力21世紀ビジョン検討委員会：電気事業の21世紀ビジョン(1986)
- 3) 資源エネルギー庁：昭和62年度電力施設計画の概要(昭62-4)



## 非等長ブロック分割による濃淡画像符号化方式

日立製作所 宮岡伸一郎・佐々木良一・他1名  
情報処理学会論文誌 28-3, 268~276 (昭62-3)

計算機の価格性能比の向上とメモリの低価格化に伴い、OA、FA、医療などの各分野で濃淡画像利用のニーズが増大している。しかし、濃淡画像は、数値データ、記号データに比べデータ量が桁違いに多いため、画像を生のまま扱うと多大の伝送コストと蓄積コストを要したり、あるいは検索時の応答性が低下するという問題が生じてくる。そこで、画像データに内在する冗長性を抑圧して高能率に符号化する、いわゆる画像圧縮の技術が重要となる。

本論文では、従来方式に対し復元画像の画質を高く保ち、かつ復元処理の大幅な高速化を可能とする「非等長ブロック符号化方式」と呼ぶ新方式を提案する。

濃淡画像の符号化方式としては、予測符号化、変換符号化、ベクトル量子化、ブロック符号化など種々の方式が提案されている。しかし、一般に圧縮比の高い方式では、符号化・復号の処理量が多く、ハード化コストが増大するという難点があった。また、従来方式の中でも圧縮性能が高いことで知

られるコサイン変換符号化の場合、低周波成分へのエネルギー集中度の低い画像、例えば文字、記号のようなシャープなエッジを含む画像では、高周波成分の打切りに伴い、エッジがぼけるという問題が指摘されていた。

本論文で提案している非等長ブロック符号化方式は、画像内の輝度変化状況に応じて、輝度が急激に変化するところではブロックサイズを小さく、輝度の変化が緩やかなところではブロックサイズを大きくというように、画像を可変サイズのブロックに分割し、各ブロックごとに輝度分布の近似を行うとともに、このような近似に適合性の高いQuad-treeと呼ぶ樹状の形式でデータを表現できるようにした。この結果、従来方式の難点であった高周波成分の打切りによる画質の劣化が抑えられるとともに、各ブロックの輝度分布の近似を簡単な関数で表現・処理することができ、処理性能の向上に結びつけることができた。

ブロック分割の手順としては、輝度分布

を線形近似したときのひずみが許容値を超えない限り四つのブロック(初期段階では画素)を一つのブロックに統合する処理を再帰的に繰り返す方法を用い、エッジの高度保存と処理の高速化を図っている。各ブロックの線形近似係数の量子化では、符号化総ビット数が一定という制約下で、量子化ひずみを最小とするように、ブロックサイズごとに量子化ビット数を定めている。ブロックの分割構造及び量子化された近似係数は、上記Quad-tree構造により効率良く符号化される。

シミュレーションの結果、高性能とされるコサイン変換符号化と同水準の圧縮性能(ビットレート対SN比)を達成できることを確認した。処理時間、それも特に実用上問題となる復号時間をコサイン変換符号化の $\frac{1}{10}$ 以下に短縮できること、また画像に含まれる文字、記号などのシャープなエッジをぼかすことなく復元できることなどの特長がある。

## マグネトロン・スパッタリング法によるアモルファス・シリコン膜の高速堆積法(2)

日立製作所 玉橋邦裕・近崎充夫・他4名  
電子写真 25-3, 270~277 (昭61-9)

水素化アモルファス・シリコン(a-Si:H)膜は、水素によってバンドギャップ内の局在準位を低減でき、p-n制御が可能である。しかも良好な光導電性を示し、高硬度・高耐熱性であるなど多くの特長を持つことから、薄膜太陽電池、電子写真感光体などの分野への応用研究が進められている。a-Si:H膜作製には主にシランガスを用いるプラズマCVD法が用いられているが、 $H_2$ を含むAr雰囲気中でSiをスパッタする反応性スパッタリング法で作製すると、膜中のSiH/SiH<sub>2</sub>比を制御でき、高抵抗膜を容易に作製できる特長がある。しかし、たい(堆)積速度が遅い。そこで高速たい積化が期待できるマグネトロン・スパッタリング法によるa-Si:H膜の高速たい積化を検討した。

高速たい積化が可能なることをまとめた前報「電子写真, 25-2, 147(1986)」の結果をもとに、水平成分の磁束密度が0.0225T、0.0425Tの磁石を組み込んだマグネトロン

カソード電極を用い、たい積速度1~16 $\mu\text{m}/\text{h}$ でa-Si:H膜を作製した。本論文は、赤外吸収法によって膜中のSiH及びSiH<sub>2</sub>量を求める方法、及びたい積速度12 $\mu\text{m}/\text{h}$ までの膜の電子写真用感光体としての特性を調べた結果をまとめたものである。まず初めに、スパッタリングの際の $H_2$ ガス混合比 $\{H_2/(H_2+Ar)\}$ 及び膜の比抵抗とたい積速度との関係を求めた。その結果、 $H_2$ ガス混合比は検討した範囲ではいずれの場合でも膜の比抵抗はたい積速度とともに低下するが、 $H_2$ ガス混合比を0.4~0.6まで増やすと、たい積速度12 $\mu\text{m}/\text{h}$ でも比抵抗 $5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗膜を作製できることが分かった。一方、膜中の結合水素量もたい積速度とともに減少し、膜の比抵抗と結合水素量が密接に関係することが分かった。更に、SiH及びSiH<sub>2</sub>結合量について調べた。通常、膜中の全結合水素量( $C_{H,Total}$ )は、 $640 \text{cm}^{-1}$ 近傍のSiと水素の曲げモードに帰属する赤

外吸収スペクトルを積分して求めることができる。一方、SiH及びSiH<sub>2</sub>の吸収ピークは、 $1,900 \sim 2,200 \text{cm}^{-1}$ に重畳して現れる。しかし、これらの量を求めるときの積分定数が定まっていない。そこで、 $1,900 \sim 2,200 \text{cm}^{-1}$ の吸収スペクトルを最小二乗法で2ピークに分割した後、これらの吸収ピークの積分値の和が $C_{H,Total}$ に一致するように二つの未知の積分定数を求めた。その結果、SiH及びSiH<sub>2</sub>に対して $1.9 \times 10^{20} \text{cm}^{-2}$ 及び $8.2 \times 10^{19} \text{cm}^{-2}$ であることが分かった。これらの結果をもとに、12 $\mu\text{m}/\text{h}$ の速度で高抵抗のa-Si:H膜を作製し、電子写真特性について検討した。その結果、単位膜厚当たりの受容帯電電位は12 $\mu\text{m}/\text{h}$ の高速でたい積しても10~15V/ $\mu\text{m}$ であり、感度も可視光域で感光体として必要な $0.1 \text{m}^2/\text{mJ}$ 以上あることが分かった。