最近の放射線化学の動向

(東京大学工学部) 田 畑 米 穂

放射線化学の基礎と応用に関する現状について紹介すると同時に、その将来の方向についても言及する。新しい、大規模な手法をつかった研究が次第にふえつつある。研究は細分化、深化される一方、周辺領域への拡散も目立つ。放射線照射の工業利用も本格的になり、多くのプロセスが工業化されており、その現状の概略について述べ、将来を展望する。

I. はじめに

放射線化学の最近の進歩は著しい。基礎研究では、極限条件下での実験によって理解が深められつつある。圧力、温度、時間など極限条件、あるいはそれらの組合せによるさらに強く規制された条件での研究が進歩を促している。一方、工業利用もいよいよ本格化し、対象とする分野も広がりつつある。

本稿では、両分野とその間を結ぶ分野の現状と将来の動向について述べる。しかし、全体を網羅することは困難であるため、筆者の興味ある分野に重点が置かれることになると思われるので、その点あらかじめご了承ください。

II. 基礎過程

1. 気相における放射線化学

単純な炭化水素に対する電子衝撃によって生成したH原子やD原子のエネルギー状態を調べるのに、励起状態から放射する Balmer α 光のエネルギー・スペクトル(ドップラー効果)を測定し、その広がりからHやD原子の運動量分布を求める方法が篠野ら⁽¹⁾によって行われている。H₂ ガスの場合、衝撃電子のエネルギーを増加(25~100 eV)させると、狭い成分と広い成分が明瞭に現われ、前者に対して0.2 eV、後者に対して6.7 eVの運動エネルギーが伴っていることが判明した。このような方法で、HやDの生成する前の親分子についての励起状態について重要な知見が得られる。H原子類似のポジトロニウム(Ps)は消滅するときに $2\gamma(0.511\text{ MeV})$ を出し、そのエネルギー・スペクトルの測定よりドップラー幅が得られ、それより消滅前のPsの運動量分布を求めることができる。Psの生成のプロセスやPsと周辺物質との相互作用について知ることができる⁽²⁾。測定手段は異なるが、内容的には極めて類似したもの

である。

種々の希ガスや炭化水素中での酸素に対する熱電子の付加反応について、X線パルスラジオリシスとマイクロ波空洞法を用いて研究を行っており、興味ある結果を得ている⁽³⁾。Ar, He, O₂ 中におけるパルス化電子ビームの自己収束性についての研究⁽⁴⁾、H₂O, D₂O, H₂O₂ 気体に電子衝撃によって生成する OH ラジカルの生成を赤外発光により測定し、振動励起したOHを検出した研究⁽⁵⁾、ベンゼンの電子衝撃発光スペクトルと同位体効果に関する研究⁽⁶⁾、Drift Tube 法によるイオン・クラスターの反応に関する研究などが最近注目されているものであろう。また、アルキルアルコール分子と I₂⁺, I⁺ および Xe⁺ イオンの衝突で起る解離過程について、質量分析によって研究が行われ、興味ある結果が報告されている⁽⁷⁾。

気体のG値については放射線プロセスの本質的な問題は多くの研究者の興味の対象であるが、高橋⁽⁸⁾によって詳しく紹介されている。また、He 気体に対するG値を求めることが、佐藤ら⁽⁹⁾によって試みられている。

2. 液体ガラス中における電子の挙動

笛木による詳しい解説がある⁽¹⁰⁾。また、凝縮相での擬自由電子のエネルギーについては、野田によって解説がなされている⁽¹¹⁾。ガラス系における電子の捕捉現象については、東村らによる興味ある研究があり、浅いトラップと深い安定なトラップに対応して、赤外バンドと可視のバンドが観測され、両者の関係について注意深い詳しい研究が行われている⁽¹²⁾。Kevan らは、電子スピン・エコー変調法を用いてメチルテトラヒドロフランの77 K γ 線照射によって生成する捕捉電子のマトリックス構造を調べ、第1溶媒層に3~4

Present Status and Future Trend of Radiation Chemistry and Its Application, Yoneho TABATA.
(1977年 7月20日 受理)

個の分子が特定な形で配位していることを具体的に提案している⁽¹³⁾。

3. 分子結晶

照射効果については数多くの報告がある。ESRによるもの、光学的吸収を測定するもの、発光による研究、電導度の測定など、手段としては多くの方法が採用されている。

芳香族炭化水素結晶の照射損傷については、伊藤、鄭による詳しい解説があり、最近の研究が紹介されている⁽¹⁴⁾。アルカン結晶中におけるホットH原子のチャネリングの可能性については、宮崎ら⁽¹⁵⁾によって論ぜられている。

Ⅲ. 注目されている2, 3の分野

基礎研究で注目されている分野で身近な話題をとりあげて説明することにする。

1. 短寿命、ピコ秒パルス Radiolysis の研究

先駆的な仕事は、カナダの Toronto 大学 Hunt 教授⁽¹⁶⁾によってなされたことはよく知られている。既設の S-Band 線型加速器よりのナノ秒パルスに含まれる fine structure のパルスを用いる Stroboscopic Pulse Radiolysis 方式で、水和電子の研究が行われた⁽¹⁷⁾。これによってピコ秒時代の幕あけとなった。この装置によって新しい研究の先鞭は付けられたが、使用している加速器が不安定で、最近中止のやむなきに至った。

一方、Argonne 原子力研究所では L-Band の線型加速器を用いて、ピコ秒の単パルスを得ることに成功した⁽¹⁸⁾。繰返し間隔 1/10~1/200 sec 程度で、パルス幅 40~60 psec で、5 nC/pulse 以上の電流量を得ている。溶媒和電子の研究が中心であり、その初期収率の値が正確に求められるようになって来た。さらに、Notre Dame 大学 放射線研究所や Hahn Meitner 研究所で試みられたが、装置の信頼性が不十分で、あまりデータは出ていないようである。

わが国でもピコ秒電子パルスの計画が進められている。北大⁽¹⁹⁾、東北大による既設の線型加速器を用いての計画と、東大原子力工学研究施設と阪大産研の新しい加速器による計画とである。東大の計画は昭和49年度にスタートし、51年度まで3年間で加速器建設、52年度付帯実験設備の建設で進んでいる。阪大産研は50年度にスタートし、以後同様な計画で実施中である。

東大の装置はほぼ調整が終り、マイクロ秒、ナノ秒のパルスは安定に得られ、ピコ秒パルスのシングルも取り出すことが確認された⁽²⁰⁾。S-Band の加速器で1/6

RF の Subharmonic Buncher を用いて、2 nsec のパルス(6本の fine pulse を含む)より、ピコ秒の単パルスを取り出すことができる。ピコ秒パルスの波形やパルス幅は、電子パルスをチェレンコフ光に変えてストリークカメラを用いて観測した。

発光現象によるエネルギー移動の研究が進められており、ピコ秒領域の研究がスタートしている⁽²¹⁾。比較的濃度の高い発光物質溶液系では、数10 psecの生成のプロセスと、それに引き続く減衰のプロセスが直接観測され、拡散律則以上に速いエネルギー移動が起っていることが認められた。レーザーのピコ秒パルスの研究では、その対象がほとんど励起に限定されているので、電子のピコ秒パルスによる研究は広い新しい分野の研究を可能にするであろう。

2. LET 効果に関する研究

今村、松井による総説があり詳しく述べられている⁽²²⁾。2, 3興味ある問題を取りあげる。Argonne 原子力研究所におけるサイクロトロンを利用したD⁺, He²⁺によるパルスラジオリシスであり、溶媒和電子のG値が求められている⁽²³⁾。日本では、理研のサイクロトロンよりの重イオンによる照射効果の研究があり、CやNイオンの照射が液相や低温固相において行われ、生成物分析⁽²⁴⁾やESR測定⁽²⁵⁾および発光・吸収スペクトルの測定⁽²⁶⁾を通してLET効果の研究が幅広く行われている。日本原子力研究所では、核分裂片によるN₂-C₂H₄, N₂-C₃H₆などの気相系での照射効果の研究が行われており、このような極めてLETの大きい粒子では、気相でもその効果が明瞭に現れてくることは注目される⁽²⁷⁾。Ar⁺, Xe⁺イオン衝撃による気相放射線化学の研究⁽²⁸⁾、さらにAr⁺イオンの鉄錯体に対する照射効果の研究も行われており、興味ある結果が得られている⁽²⁹⁾。K₃[Fe(CN)₆]に対するAr⁺イオンとγ線の照射では明瞭な差異が観測されている⁽²⁹⁾。さらに、Ar⁺イオンの持つエネルギーの効果も非常に顕著に現れており、これらの現象は重イオンによる原子間衝突のカスケードおよび内殻励起などの効果によって説明される。

60 MeV のH⁺による有機単結晶に対する照射効果について研究が行われ、生成ラジカル対に対するLET効果について、低温からのESR測定によって研究が行われた。ラジカル対生成のG値にγ線と比較して大きな差異があることが認められた⁽³⁰⁾。

高速中性子による照射効果の研究は多くない。最近筆者らの研究室で、高速中性子の線量測定を鉄イオンの酸化、Ceイオンの還元をH₂OおよびD₂O中で測定することによって行なった。東大原子力工学研究施設

にある高速中性子源炉「弥生」の炉心とその近傍における高速中性子束および γ 線のバックグラウンドについて、正確な線量を測定することができた。この線量測定を基礎に、高速中性子による PMMA やポリスチレンに対する照射効果の研究が続けられている。前者に対しては分子量や分子量分布の変化の測定から分解が、後者に対しては架橋と分解が起こることが認められ、相当 γ 線と比較して不均一に反応が進行することが確かめられた⁽³¹⁾。

Fission Neutron Pulse Radiolysis の研究も計画されている。LET 効果をトランジェントの姿で捕えようとするものである⁽³²⁾。

3. ESR による研究

放射線化学プロセスを研究する手段として磁気共鳴の方法が広く用いられていることはよく知られている。最近、この方面の詳しい解説がある⁽³³⁾。

(1) スピントラッピング法

主として液相に生成する不安定活性種(ラジカル, ラジカルイオン)を nitroso や nitron 化合物によって、長寿命の安定ラジカルにして観測して、もとの不安定ラジカルの構造や挙動について研究しようというものである。最近は多くの研究室でこの方法が取り上げられて成果をあげている⁽³⁴⁾。

(2) 電子線照射下の測定

Fessenden, Smaller に始まる照射下の ESR 測定、次に筆者らの研究室で実現し、現在はオランダの Hummel⁽³⁵⁾およびカナダの Sargent ら⁽³⁶⁾によって行われている。プラスチック・クリスタルにおけるフラグメントラジカル⁽³⁷⁾や水中の H 原子の不安定ラジカルについて⁽³⁸⁾研究が行われた。水中の H 原子は -130°C を境にして挙動が著しく異なり、高温域では spin polarization による低磁場側での emission と高磁場側での absorption が観測され、温度上昇に伴い著しい線幅の減少が観測された。

低温域では H の拡散は比較的遅く、Hopping 方式であることが推定された。 -130°C での一種の転移点上下での H 原子の挙動の変化に対応して、最近 Muonium 原子 μ^+-e^- の水中の挙動にも同様な傾向が現れることが、Muon Spin Rotation の測定から結論された⁽³⁹⁾。

(3) 極低温での測定

1.5, 4.2 K の極低温での測定によって興味ある結果が得られつつある⁽⁴⁰⁾。炭化水素中に生成するラジカル対の空間分布が 4 K と 77 K では異なり⁽⁴¹⁾、2 成分系(溶質と溶媒)では、溶質が原因で出来る溶媒ラジカルの量が 4 K と 77 K で著しい差があり、前者ではほとん

ど生成しない⁽⁴²⁾。このような実験結果から、77 K では相当サイトの移動が起こることが判明し、同温度は充分かたい系とはいえず、照射効果の初期状態をクエンチするには 4 K とか 1 K くらいの低温にする必要があることを示唆している。

(4) その他

諸種のアミノ酸⁽⁴³⁾や他の有機結晶⁽⁴⁴⁾に生成した活性種の ESR 測定について、興味ある結果が得られている。シリカゲル、アルミナ、ゼオライト、バイコールガラス等への炭化水素の吸着状態に関する研究が行われ、活性界面のそれらの放射線分解に対する効果を定量的に解析している⁽⁴⁵⁾。ポリエチレンに生成するラジカルについては嶋田、柏原らによって多くの研究が行われている⁽⁴⁶⁾。

IV. ポジトロネ e^+ とポジトロニウム Ps の化学

物質中の挙動は放射線化学的に興味があり、最近この分野における研究は急速に広まりつつある⁽⁴⁷⁾。ポジトロネが物質中で消滅する過程に対して、Ore モデルと Spur モデルが提案されて議論の対象になっている。Ore によるモデルは e^+ が分子から e^- を“はぎとる”ことによって Ps が出来、引き続いて消滅するというものである。

Mogensen によって提案された Spur モデルでは、 e^+ が自ら作った Spur 内の自由電子と結合するものとしている。

気相では(1)式が無視できず、液相では(2)式が重要であろう。固相では多くの複雑な要因が重なり簡単ではない。 e^+ 、Ps の挙動を調べる手段としては、寿命測定、消失の時放出する γ 線のエネルギー分布、角度相関の測定などであり、測定装置の感度の増大と自動化により、比較的容易に正確なデータが得られるようになって来た。最近の 2, 3 の興味ある研究を次に挙げる。

Ps 生成に対する電子捕捉剤効果に関する一連の研究がその一つである。Ps 形成の際、 e^- を捕捉すれば e^+ の相手がなくなるので、Ps の生成が抑制されることになる。この際、その捕捉剤の種類や濃度がどのような影響を与えるかについて研究が行われ、重要な結果が得られている。捕捉剤にハロゲン化アルキル $R-X$ を用いた場合、Ps の生成に対する抑止効率は $R-X$ の解離エネルギーが小さいほど大で、極めてよい相関が見出さ

れた⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾。捕捉剤濃度の高いところでは捕捉剤と e^+ との直接相互作用による抑制も重要になってくることが実験的に示された。この種の研究では(e^+ と e^- の挙動は互いに密接に関連しているので), e^+ の挙動を通して e^- の挙動を, e^- の挙動を通して e^+ の挙動を知ることができる。

e^-e^+ pair 消滅時に発生する γ 線のエネルギー分布を測定することによって, ドップラー幅の測定が可能で消滅直前の e^+ の運動量分布がわかる。この測定によって, e^+ と物質の相互作用の大きさ, Psの運動量分布を知ることができる⁽⁴⁹⁾。

最近では加速器よりの電子や重イオンを適当なターゲットに照射して e^+ を発生させ, 低エネルギーでモノクロマチックな e^+ ビームを取り出し, 気相における原子・分子との相互作用の研究を行なったり⁽⁵⁰⁾, 超高真空(10^{-11} ~ 10^{-12} Torr)の金属表面に低エネルギー e^+ を導き, そこでの消滅過程を調べることによって, 金属材料の表面状態の研究を行う試みがなされつつある⁽⁵¹⁾。核融合炉材料の研究の有力手段になり得るであろう。

高エネルギーのプロトン(500 MeV)をターゲットに照射して発生する中間子の一つ μ^+ (Muon)は, 物質中で e をつかまえてHやPsと類似のムオニウム Muonium (Mu)を形成する。この Muon や Mu を取り扱う化学が Muonium Chemistry であり, 最近カナダの TRIUMF, アメリカの Lawrence Berkley およびスイスの Zürich 大学高エネルギー研究所で研究が進められている⁽⁵²⁾。Ps, Mu, Hの質量比は約1:100:1000であり, 3者の反応性(付加反応, 引抜き反応など)について比較が行われ, 速度定数が求められている。付加反応は質量の減少とともに急激に大きくなるのに対し, 引抜き反応では反対の傾向が顕著に現れている。Hの反応では室温, 気相ではトンネル効果は観測されないが, Mu, Ps になると重要になってくることが注目される。

V. 高分子の放射線化学

1. 放射線重合

イオン重合の機構に関する研究が注目されている。スチレンは水分の存在下でも充分高い線量率ではイオン重合が起る⁽⁵³⁾。パルスラジオリシス法によって, モノマー・カチオンラジカル, ダイマーおよび生長カチオンが観測され, 重合の機構が直接的な手段で明らかにされつつある。スチレン, α -メチルスチレンやビニール・カルバゾールでは, 会合ダイマー・カチオンも観測され, 重合に対する役割が論ぜられている⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾。

低温ガラス状におけるモノマーの重合⁽⁵⁶⁾, フッ素系モノマーの共重合⁽⁵⁷⁾が応用的観点から興味が持たれている。高線量率下におけるメチルメタクリレートやビニールエーテルの重合が薄層状態で行われており, 興味ある結果が得られている⁽⁵⁸⁾。

2. 高分子の分解

光散乱法を用いたパルスラジオリシスによって, ポリメチル・メタクリレート, ポリビニルケトンおよび核酸などの分解過程が解明されつつある⁽⁵⁹⁾。ポリメチル・メタクリレートについては, 主鎖の直接開裂と側鎖にラジカルが生成して2次的に主鎖の切断が透起されることが明らかにされており, 後者は酸素の存在によって保護されることが示された。ポリ α -メチルスチレンについては, イオン機構による速い分解反応が見出されており, 各種添加物との関連で詳しい分解機構が論ぜられている⁽⁶⁰⁾⁽⁶¹⁾。最近, ポリメチル・メタクリレートの高速中性子による照射効果が研究され, 高分子鎖切断のG値や連鎖切断に γ 線との間で大きな差異が見出されている。分子量分布の変化より, 高速中性子照射では, より不均一な反応が起きていることが示された⁽⁶²⁾。単分散のポリスチレンに対する中性子照射効果の研究も行われており, 架橋や分解のG値が大きく異なることが明らかにされると同時に, 分子量分布の変化が γ 線と中性子で著しく異なることも見出された⁽⁶³⁾。相馬らは, 低温でPMMAに機械的な剪断力を与え破碎することにより, 従来見出されていなかった $\sim\text{CH}_2\cdot$ の切断で生成したラジカルを検出することに成功した⁽⁶⁴⁾。

3. グラフト重合

医用高分子材料の合成, 加工に広く放射線法が用いられている。さらに, イオン交換膜, 透析膜などにも広く応用されるようになってきた。

4. その他

還元型チトクロムCの Br_2^- による酸化反応⁽⁶⁵⁾やヘム蛋白質中のエネルギー移動について⁽⁶⁶⁾, パルスラジオリシス法による研究が行われている。各種ポリマーにおけるエネルギー移動を発光を測定することによって研究されている。

VI. 放射線化学の工業利用

第1回放射線プロセスに関する国際会議が1976年5月ブエルトリコで開催された⁽⁶⁷⁾。この会議では, 世界における放射線工業利用の現状が分析され, 将来に対する展望について意見が交換された。線源としては主として電子加速器が用いられているが, 大容量の ^{60}Co

も使用されている。前者については、アメリカで現在約200台、日本では約50台が工業プロセスのために稼働している。後者については、医療品殺菌のプロセスを含めて60~70のプラント、線源容量としては6,000万Ciに達する。対象としては、発泡ポリエチレン、電線ケーブル、架橋プラスチックシート、チューブ、フィルム、パイプなど高分子材料の架橋を利用したものが多い。さらに塗装の硬化、繊維織物の樹脂加工、プラスチック・木材複合材料など、重合に架橋が伴ったプロセスもある。医療用材料、医療器具および用具、さらに治療後の廃棄物(医用廃棄物)などに対する照射による消毒や殺菌が広く普及しつつある。従来的高温チームやエチレン・オキサイドで処理が困難なものが第1段階としては対象となるが、最近では全般的に放射線法が増加の傾向にある。処理は ^{60}Co よりの γ 線と加速器よりの電子線によって行われているが、日本を含めてアメリカ以外の国では ^{60}Co が主に使われており、アメリカは、加速器の方が処理容量としては大きくなっている。将来はエネルギーの高い加速器が次第に多く使われるようになると思われる。

環境保全に対する放射線利用が注目されており、都市廃水⁽⁶⁸⁾、工場廃水の殺菌処理、廃煙の無害化⁽⁶⁹⁾のためのプロセスが検討されており、アメリカ、日本、西ドイツなどを中心に ^{60}Co や加速器を使用して、パイロット規模の研究、テストが行われている。環境保全については、有害物質を無害化する直接的な利用方法と、有害物質などで環境条件を悪化する要因をなくすか少なくするような間接的利用法とがある。後者については無溶剤塗料の放射線硬化、ゴムシートの冷加硫、各種材料の表面塗装硬化などであり、環境への溶媒や大量の熱放出を極端に減らすことができる。この分野では将来の発展が特に予想される。しかし、廃煙や汚水の処理ではその量が非常に大きくなるため線源の大型化が必要であり、安定・大出力の加速器の開発が望まれる。

食品保存は、長期的にみれば人口増加、天然資源の有限性(原料とエネルギー)を考えれば、非常に重要なことと思われる。放射線照射による穀物よりの害虫の除去、野菜の発芽防止、果実や肉類、加工食品の防腐、鮮魚の保存などであり、各国で研究が進められている。北海道士幌農協では、じゃがいもの発芽防止を ^{60}Co よりの γ 線照射によって行なっており、その安全性は国際機関によって確認されている。

結論として放射線の工業利用は、照射コストの低減とプロセスのコントロールの容易さによって次第に増

大するものと思われる。また、クリーンプロセスにもなり得るものであり、省エネルギー・プロセスであることも重要な因子であり、将来の発展が期待される。

—参考文献—

- (1) ITO, K., *et al.*: *Chem. Phys.*, **21**, 203 (1977).
- (2) ITO, Y., *et al.*: *Chem. Phys. Lett.*, 印刷中.
- (3) SHIMAMORI, H., HATANO, Y.: *Chem. Phys.*, **21**, 187 (1977).
- (4) ARAI, H., HOTTA, H.: *Radiat. Phys. Chem.*, **10**, 7 (1977).
- (5) 藤田岩男, 他: 第19回放射線化学討論会予稿集, p 18 (1976).
- (6) 辻 正治, 他: 同 上, p 20.
- (7) YOSHIHARA, K., *et al.*: *Int. J. Mass Spectrom. Ion Phys.*, **23**, 1 (1977).
- (8) 高橋 旦: 放射線化学, **6**, 20 (1971).
- (9) 岡崎 清, 他: 前 出(5), p 4.
- (10) 笛木賢二: 放射線化学, **11**, 11 (1976).
- (11) 野田正治: 同 上, **12**, 10 (1976).
- (12) 長谷博友, 他: 前 出(5), p 112; 野田真人: 同, p 114.
- (13) NARAYANA, P.A., *et al.*: *J. Chem. Phys.*, **63**, 3365 (1975).
- (14) 伊藤憲昭, 鄭 台洙: 放射線化学, **12**, 2 (1976).
- (15) 宮崎哲郎: 前 出(5), p 70.
- (16) BRONSKILL, M.J., HUNT, J.W.: *J. Phys. Chem.*, **72**, 3762 (1968).
- (17) WOLFF, R.K., *et al.*: *ibid.*, **77**, 1350 (1973); WOLFF, R.K., *et al.*: *ibid.*, **79**, 210 (1975).
- (18) MAVROGENES, G., *et al.*: *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-20**, 919 (1973).
- (19) 片山明石: 現代化学, p 12 (1975).
- (20) 田畑米穂, 他: 第20回放射線化学討論会(1977. 10.); 本会昭52分科会予稿集, B14, (1977), 発表予定.
- (21) 田川精一, 他: 同 上, 発表予定.
- (22) 今村 昌, 松井正夫: 放射線化学, **12**[23], 20 (1976).
- (23) SCHMITT, W.F., *et al.*: Hart Conference, ANL, July 7~9, (1975).
- (24) IMAMURA, M., *et al.*: *Bull. Chem. Soc. Japan*, **43**, 2745 (1970).
- (25) KIMURA, K., *et al.*: *J. Chem. Phys.*, **63**, 1797 (1975).
- (26) 木村一宇, 他: 前 出(5), p 120.
- (27) IKEZOE, Y., SATO, S.: *Bull. Chem. Soc. Japan*, **48**, 3111 (1975).
- (28) ARAI, E., TAKAHASHI, M.: *Chem. Lett.*, 975 (1974); 高橋新一, 他: 前 出(5), p 32.
- (29) 大野新一, 古川勝敏: 同 上, p 122.
- (30) HAMANOUE, K., *et al.*: *J. Chem. Phys.*, **61**, 3439 (1974).
- (31) 江草茂則, 他: 前 出(5), p 86.
- (32) 田畑米穂, 田川精一: *Proc. US-JAPAN Seminar on Pulsed Nucl. Reactor*, (1975).
- (33) 吉田 宏: 放射線化学, **10**, 2 (1975).
- (34) 例えば, 小南恩郎, 他: 前 出(5), p 56; 市川恒樹, 吉田宏: 同, p 58; 村林 俊, 他: 同, p 60; 石川洋一, 他: 同, p 62.
- (35) WARMAN, J., *et al.*: *Chem. Phys. Lett.*, **22**, 480 (1973).

- ③⑥ SARGENT, F.P., GARDY, E.M.: *J. Chem. Phys.*, **80**, 854 (1976).
- ③⑦ 勝村庸介, 他: 前出(5), p 72.
- ③⑧ SHIRAISHI, H., et al.: *J. Phys. Chem.*, **80**, 2400 (1976).
- ③⑨ PERCIVAL, P.W., et al.: *Preprint Int. Symp. Positronium and Muonium Chemistry*, Abstract No.110, ACS/CIC Joint Meeting, Montreal, May, 1977.
- ④⑩ IWASAKI, M., et al.: *Chem. Phys. Lett.*, **39**, 90, 542 (1976).
- ④⑪ 島山和美, 他: 前出(5), p 66.
- ④⑫ 岩崎万千雄, 他: 同上, p 64.
- ④⑬ 峯岸安津子: 第15回 ESR討論会予稿集, p 119 (1976).
- ④⑭ 松山奉史, 山岡仁史: 前出(5), p 74, 76.
- ④⑮ 小椋一, 他: 第18回放射線化学討論会予稿集, p 97 (1975).
- ④⑯ HORI, Y., et al.: *Polymer*, **18**, 151 (1977).
- ④⑰ 4th Int. Conf. Positron Annihilation, August, 1976 (Denmark); 5th Conf. は1979年4月, 日本にて開催予定.
- ④⑱ ITO, Y., TABATA, Y.: 前出(39).
- ④⑲ 伊藤泰男, 他: 前出(5), p 36, 38.
- ⑤⑰ ROELLIG, L.O.: 前出(39).
- ⑤⑱ BERKO, S., CANTER, K.F.: 同上, Abstract No. 74.
- ⑤⑲ FLEMING, D.G., 他; CROWE, K.M., 他; PERCIVAL, P. W., 他; GYGAX, F.N., 他; VAZ, L.C., 他: 同上.
- ⑤⑳ 桜田一郎: *Proc. 7th Res. Conf. High Polymers, Foundation for Research Conference in Chemistry*, p 5 (1976).
- ⑤㉑ 田畑米穂: 同上, p 13.
- ⑤㉒ IRIE, M., et al.: *J. Phys. Chem.*, **79**, 699 (1975).
- ⑤㉓ 喜悦 勲: 放射線化学, **11**, 2 (1976).
- ⑤㉔ TABATA, Y.: *Radiat. Phys. Chem.*, **9**, 31 (1977).
- ⑤㉕ 林 香苗: 前出(5), p 94.
- ⑤㉖ LINDENAU, D., SCHNABEL, W.: *Int. Symp. Radiation Chemistry*, Lake Balaton, Hungary, May, 1976.
- ⑤㉗ 岡村誠三: 前出(53), p 87.
- ⑤㉘ 山本幸男, 他: 前出(5), p 84.
- ⑤㉙ 江草茂則, 他: 同上, p 86.
- ⑤㉚ 石樽頼吉, 他: 第20回放射線化学討論会, (1977. 10).
- ⑤㉛ 相馬純吉, 他: 前出(43).
- ⑤㉜ 関 博之, 今村 昌: 前出(5), p 80.
- ⑤㉝ 林晃一郎, 他: 同上, p 82.
- ⑤㉞ *Radiat. Phys. Chem.*, **9**, Nos. 1~6, (1977), (Proceedings of Int. Meeting on Radiation Processing, Puerto Rico May, 1976).
- ⑤㉟ 田畑米穂, 町 末男: 原子力工業, 10号, 35 (1976).
- ⑥⑰ SÜSS, A., et al.: *Int. Symp. Use of High Level Radiation in Waste Treatment-Status and Prospects* Munick, Mar. 1975.
- ⑥⑱ 町 末男, 他: 前出⑦.

第2回シンポジウム「イオン源とイオン装置」開催案内・講演募集

主催 電気学会電子装置研究専門委, 協賛 本会「重イオン研究」特別専門委, ほか

本シンポジウムは本年2月に第1回が開催され, 引き続いて第2回を来年2月に開催する運びとなりました。奮ってご応募, ご参加下さることを希望します。

(昭和52年度文部省科学研究補助金により, 総合研究(A)「イオン源の統一の評価法の確立に関する調査」が実施されており, この研究活動に関連して本シンポジウムが開催される運びとなりました。)

会期 1978年2月16日(木)~18日(土)

会場 都立産業会館 大手町館

参加費 3,500円 (講演論文集を含む。当日会場にて受付けます)

講演申込要領

(1) 内容

- ①イオン源: 基礎理論(イオン源に関する衝突過程, プラズマ物理, 放電現象など), 正イオン源, 多価イオン源, 重イオン源, 負イオン源, 偏極イオン源。
- ②イオンビーム技術: 基礎理論(イオンビームの形成と加速), イオン光学, エミッタンスおよび輝度の測定, イオンビームの分析および制御, 空間電荷中和, 荷電変換, 中性ビームの発生, 高エネルギーおよび低エネルギーイオンビームの発生。
- ③応用技術: 核融合, 加速器, 宇宙推進機関, 相対論ビームイオン注入, イオンプレATING, イオンビームエビタキシー, イオンビーム加工(エッチング, ミーリング等), 表面分析などを対象とした装置。

(2) 講演時間: 1件の発表15分程度の予定。

(3) 使用可能機材: ライカ版(36×24mm)のスライドプロジェクター, オーバーヘッドプロジェクター

(4) 申込方法 ①タイトル, ②氏名, ③所属研究機関, ④連絡先住所, 電話番号, (①②③は和文, 英文とも, ④は和文)を明記して, はがきまたは封書にて(社)電気学会調査課(〒100 東京都千代田区有楽町1-12-1, 新有楽町ビル Tel. 03-201-0983)宛にお申し込み下さい。(締切り11月15日) 詳しい問合せは京都大学・工学部電子工学教室高木研究室 石川順三(〒606 京都市左京区吉田本町。Tel. 075-751-2111, 内線5021)へ。

申込締切り後, 申込者には原稿執筆要項を送付しますので, それに従ってA4版用紙に英文2枚(縦25.4cm, 横16.5cm, シングルススペース, 図表を含む。原稿をそのまま縮小してオフセット印刷のできる状態とする)を78年1月15日必着で上記申込先と同所まで送付して下さい。(論文集の外国発送, その他の便を考慮して原稿は英文でお願いしますが, 講演は日本語で行います。)

本シンポジウムと隣接して各種イオン装置の「展示会」を開催します。