

陽電子の産業利用をめざして



研究室紹介

白井 泰治*

Positron Spectroscopy for Industrial Materials

Key Words : Positron Annihilation, Materials Science, Defect, Creep, Void

1. はじめに

陽電子はプラスの電荷をもつ電子で、空から降り注ぐ宇宙線の中に含まれている程度で、日常生活では全く無縁の存在です。科学技術の世界でも、もっぱら電子が主人公で、電子を利用した各種の分析・評価技術が活用されています。しかし、あらゆる物質を構成する電子の反粒子であるという本性が、ここで紹介させていただくように、陽電子の“思いがけない”産業利用を可能にする根源になっています。以下では、私達が工学研究科・マテリアル科学専攻・材料機能学講座・材料評価学領域で最近取り組んでいますテーマの一部を紹介させていただきます。

2. 無いものを見る陽電子

およそこの世にあるほとんどすべての評価技術は、何がどのようにあるのかを検出します。各種元素分析、電子顕微鏡観察、X線回折などを思い浮かべていただくと、すべて、存在している原子やその配列を検出しているということが出来ます。これに対して、陽電子を用いると、存在していないものを見る事が出来ます。本来あるべき原子が欠けている“原子空孔”や、それが集合した“空洞”や“転位”などの欠陥を極めて高感度にしかも非破壊で検知することが出来ます。この極めてユニークな陽電子の特性が認識されたのは、陽電子の発見から実に40年近

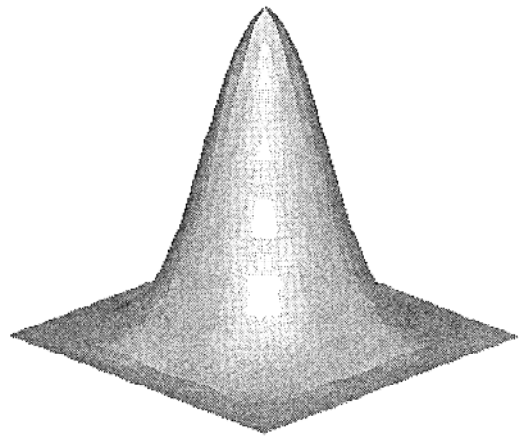


図1 材料中の欠陥に陽電子が集まる様子

くも経った1970年前後で、比較的最近の出来事です。

材料中に欠陥が存在すると、陽電子は正の電荷をもつため、原子が欠けた欠陥部分に集まり、その位置で電子と合体消滅し、ガンマ線となって放出されます。欠陥中の電子構造は完全結晶部とは異なり、また各種の欠陥に固有なため、この消滅ガンマ線の分析によって、材料内部の欠陥の種類やその量を知ることが出来ます。図1は、陽電子が金属材料中の原子空孔に捕獲されている様子を示しています。原子空孔が100ppmもあれば陽電子は必ずそこに捕獲され、欠陥での情報を 10^4 倍に増幅してくれます。原子炉材料中に形成され材料劣化の原因となる空洞(原子空孔が集まったもの)等には、さらに高感度です。

3. 材料の使用環境での内部欠陥評価

上記のような特性は、これまでもっぱら大学での基礎研究に用いられてきました。しかし、陽電子のユニークな特性は産業界でも利用価値があるはずで、一つの方向として、高温や高荷重などの過酷な



* Yasuharu SHIRAI
1950年7月28日生
1979年京都大学大学院工学研究科博士課程単位修得退学
現在、大阪大学大学院・工学研究科・マテリアル科学専攻、教授、工学博士、材料科学
TEL 06-6879-7490
FAX 06-6879-7492
E-Mail shirai@mat.eng.osaka-u.ac.jp

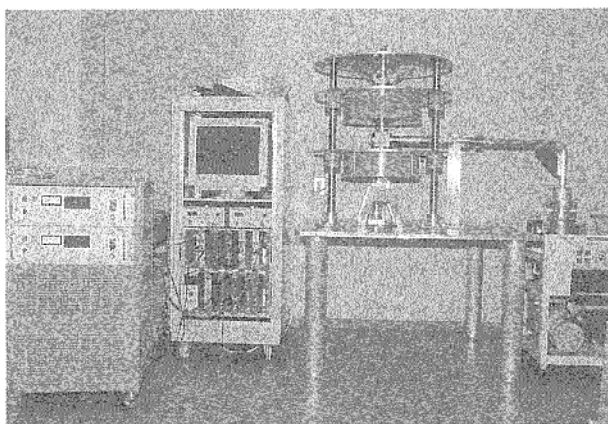


図 2 高速陽電子ビーム材料評価装置

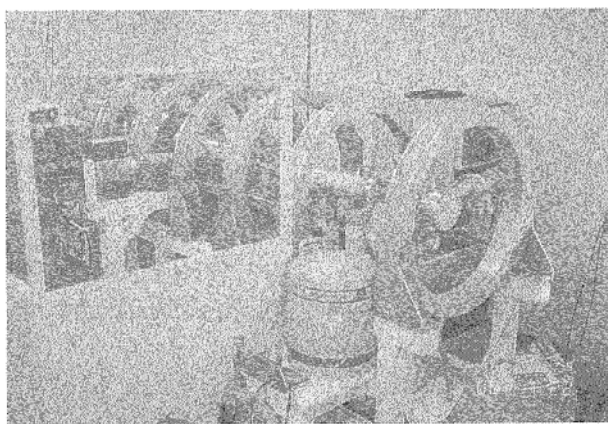


図 3 低速陽電子ビーム材料評価装置

条件下で使用される材料の、使用環境での内部構造変化のその場検出を目指しています。これを実現するために私達の研究室では、陽電子線源から放出される比較的高速の陽電子だけを試料に照射する陽電子ビーム装置を考案するにいたりました。このアイデアは、幸いにも科学技術振興事業団の独創的研究成果育成事業として採択され、図2に示すモデル機を完成することができました。さらにこのモデル機を発展させ、クリープ試験(高温高荷重下での材料変形試験)中の耐熱材料の内部変化を直接その場測定する装置が、科学技術庁金属材料技術研究所に導入され、実用化に向けて調整が進められています。もちろん世界に類似の装置はありません。

4. 材料の使用現場でのその場診断

もう一つの流れは、現在既に使用されている重要部材中の欠陥を、非破壊でその場で検出しようとするものです。そのために私達の研究室では、装置の小型化に取り組んでいます。これが実現すると、比較的狭い場所でも、あたかも聴診器を当てるような使い方で、材料中の欠陥を検出し、その部材の余寿命を診断できるようになります。非破壊で材料の劣化や疲労の度合いを検出する技術は、現在でも極めて限られています。陽電子を既存の診断技術と相補的に活用すれば、重要な社会資本を、より安全かつ有効に活用する事ができると期待されます。

5. 機能材料の評価

上記2例は、比較的高エネルギーの陽電子を用い、主として構造材料について、内部の平均的な情報を得ることを目的としたシステムです。これに対して、

機能材料の多くは、薄膜や表・界面にその機能が付与されます。このような機能材料の評価のために、低速陽電子ビーム装置があります(図3)。線源から放出された陽電子を一旦減速し、必要に応じて加速して試料に照射します。ほとんど加速しない場合、陽電子は表面で消滅して表面の情報を与えてくれます。加速電圧が高いほど陽電子は材料中の深い位置で電子と対消滅します。すなわち、この装置は材料の表界面の情報や、材料中の欠陥の深さ方向の分布を与えてくれます。本研究室では、この陽電子ビームをパルス化して試料に入射し、陽電子寿命計測ができるように改造しました。これで情報量が一気に増大します。この装置も国内で唯一のものです。

6. 材料科学への応用

生産技術振興協会が、大阪大学と産業界との緊密な相互協力を目的として活動されてきたことを念頭に、本稿では実用的な側面を紹介させていただきましたが、当研究室では、それ以外にさまざまな材料の電子構造、原子構造を探る極めて有効なプローブとして、陽電子を利用してきました。最近の例では、水素吸蔵合金の性能と格子欠陥の役割、形状記憶合金の電子系に見られる相転移前駆現象、金属間化合物の構造欠陥、半導体シリコン中の欠陥、セラミックス中の欠陥等があげられます。いずれの場合も、既存の他の手法では決して得られない情報が手に入るために、新たな物質を測定するたびに、新しい発見が生まれるという状況です。

7. おわりに

研究室のスタッフは、私、荒木秀樹助教授、水野

正隆助手，平尾桂一技官と，秘書の本多恭子さんです。荒木助教授は，陽電子以外にも拡散現象やチタン合金の専門家です。水野助手は電子論に基づく化学結合研究の専門家で，この4月に着任してもらいました。平尾技官は応力腐食割れに関する研究で博士の学位を得ています。このスタッフの下で，現在博士課程2名，修士課程9名，学部4年生6名の元気な学生達が，日夜がんばって研究しています。内

4名は女性という華やかさにも恵まれています。

陽電子計測で得られる物理量は，第1原理計算から導かれる理論値と直接比較できることが大きな特徴です。今後はこの特長を最大限に生かし，精密な実験と理論計算とを車の両輪として研究の質を高め，陽電子消滅を新しい材料評価技術として確立してゆきたいと願っています。

