

[062]九州大学応用力学研究所所報表紙奥付等

<https://hdl.handle.net/2324/4791834>

出版情報：応用力学研究所所報. 62, 1986-02. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：



公開研究発表会概要

昭和60年1月18日（金）、九州大学筑紫地区共通管理棟大会議室において、上記発表会を行った。

RTNS-II による核融合中性子照射実験

高エネルギー力学研究部 吉 田 直 亮

21世紀のエネルギーを担う核融合炉の実現に対して、プラズマ物理、プラズマ工学に次ぐ第2の難関は、プラズマを閉じ込めるための炉壁材料であると言われている。プラズマから放出される放射線による損傷が材料の耐用年数を決めるが、実用炉において10年以上の使用に耐えられるような炉壁を今すぐ作るにはなお多くの基礎データが不足している。特に核融合炉で発生する14 MeV という非常に大きなエネルギーを持った中性子による照射損傷は原子炉の場合と比べ一層激しく、又異質であるため既成の知識では対応しきれない複雑な問題を含んでいる。14 MeV 中性子による照射効果の2大特色は、

(1) 原子との1回の衝突によって平均1000個以上の原子の配列がなだれ的に乱れる。（カスケード損傷と称する。）

(2) 固体中の原子核との核反応により、ヘリウム原子や水素原子が多量に発生する。

ことである。

カスケード損傷によって発生した欠陥は一般には不安定状態にあるため、核反応で発生したガス原子も含めて、離合集散をくりかえし、より安定な形態へと変化し材料中に徐々に蓄積されてゆく。この欠陥集合体の蓄積が照射による材料の劣化の元凶であるが、その形成機構については不明な点が多く、炉壁材料の照射損傷を予測する上で大きな問題となっている。

本研究はこのような14 MeV 中性子による照射損傷過程、特にカスケード損傷に伴う安定欠陥集合体の形成機構を原子レベルで理解し、耐照射性の高い炉壁材料の開発に基礎付けを与えようとするものである。

照射実験は、日米核融合協力事業の一環として、世界最強の14 MeV 中性子発生装置であるRTNS-II（回転ターゲット中性子源、米国ローレンスリバモア研究所）を用いて行なっている。

照射した種々の金属および合金試料を、電解研磨法により薄膜にした後、電子顕微鏡を用いて損傷組織の観察を行なった。

くわしくは講演において述べるが、主な成果を列挙すると、

- (1) カスケード損傷に特有な安定欠陥集合体の形態およびその発生、成長機構が明らかとなった。
- (2) 特に面心立方金属においては積層欠陥四面体と言われる原子空孔集合体が、欠陥の蓄積に重要な役割をはたす。
- (3) 合金の照射効果でその重要性が指摘されていたカスケード損傷による合金中の微細析出相の崩壊現象が初めて観察された。

- (4) 14 MeV 中性子照射では非常に低い照射量においても結晶中に空洞が発生することが確認され、高エネルギーのカスケード損傷は、従来予測されていたより、はるかに大きな損傷効果を持つ可能性があることが明らかとなった。

核融合炉環境下における材料の照射損傷の予測

高エネルギー力学研究部	北 島 一 徳, 吉 田 直 亮
	安 部 博 信, 明 石 義 人
材料研究部	蔵 元 英 一, 佃 昇
	青 野 泰 久
総理工高エネルギー物質科学	室 賀 健 夫

核融合炉真空壁材料の、D-T 中性子による重照射 ($\sim 100\text{dpa}$) 効果の予測は、現在、プラズマの臨界条件達成に次ぐ炉実現のための重要課題とされている。しかし現在なおこれに近い照射環境はえられていないので、低照射量 ($10^{-3}\sim 10^{-2}\text{dpa}$) ではあるが RTNS-II、または一部の条件のみを満たす他のシミュレーション照射の手段によらざるを得ない。我々のグループでは RTNS-II のほか、加速器 (100 MeV, Ni イオン等)、原子炉 (増殖実験炉) および超高圧電顕 (1.25 MeV) 等を用いて照射実験を行なうと共に、これらの結果に対し理論解析を行ない、照射損傷機構の解明を目指している。ここでは後者に関する最近の成果について述べる。

高エネルギー中性子 (14 MeV) が材料中の原子に衝突すれば、その運動エネルギーにより瞬時に多種類の格子欠陥が局所的に発生し、いわゆるカスケードを形成する。原子衝突過程、また、核反応によりヘリウム原子が発生する ($\sim 10\text{ppm/dpa}$)。これらの種々の格子欠陥は、その後拡散により拡がると共に、不純物原子などと共に離合集散を行ない、種々の欠陥集合体 (空洞: ボイド, 照射誘起析出物, 転位ループ等) を形成し—熱的過程—材料の組織を変化させ、強度の劣化をきたす。

これらの過程は、種々の時間的空間的スケールの変動を伴う力学過程と熱的過程の混合であり、これまでこれらを合理的に記述できる理論がなかった。ここでは、これらの種々の変動を、それらの時間的スケールの大きさに従って分類し、それぞれの変動の段階を確率過程として取り扱い変動の二次モーメントまでを近似する方程式—Fokker-Planck の式—を求め、これからの系列によって全体の過程を表現する。カスケードの形成には計算機シミュレーション (MARLOWE) を利用し、拡散による変動過程の計算にはカスケードの発生が時間的に一様で不規則である性質を利用する。計算の結果は次のように要約される。

- 1) 欠陥集合体: クラスターの形成はそれらの寸法が小さく、統計的変動が問題になる核発生の段階と、寸法が大きく安定した成長を示す段階に分けられる。
- 2) カスケードの変動効果によって一般に核発生は助長されるが、カスケードのエネルギーの増大と共にその効果は増大し、ピークを経て後減少する。その条件は照射速度に依存し、核融合炉の条件はピークの条件に近い。

- 3) ヘリウム発生の効果は材料の組織と内部組織に依存し、ヘリウムがボイドの成長を大きく増大させる場合と、反対に成長を抑制する場合に分かれ、種々の条件に依存する。この部分の制御が今後の核融合炉炉壁材料の開発の鍵となる。

鉄および鉄合金の強度と照射効果

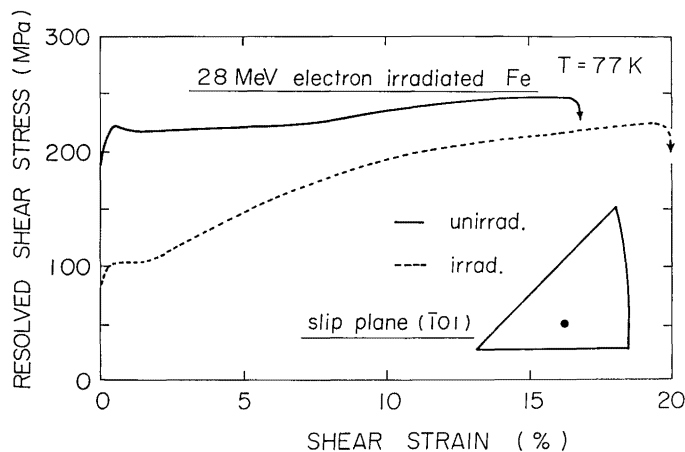
材料研究部 青 野 泰 久, 佃 昇

蔵 元 英 一

高エネルギー力学研究部 北 島 一 徳

結晶の塑性は材料の強度と結びついた非常に重要な物性であり、固体の性質のうち、電気的性質、磁気的性質と共に、力学的性質の一端を担う重要な学問的対象でもある。本講演では、数年来継続して研究がなされてきた「体心立方遷移金属の強度とそれらに及ぼす照射効果」の中から最も興味ある鉄および鉄合金の特性について発表したい。

結晶の塑性変形は微視的には、格子欠陥の一種である大多数の“転位”が格子中を外力のもとですべり運動することによって生ずる。体心立方金属においては“らせん”的性質をもつ転位が変形を支配していることはすでに明らかにされている。従来“純鉄と称せられるもの”については低温でより大きな降伏強度をもつことが知られていたが、それが純鉄中に含有する微量の不純物格子間原子（例えば炭素、窒素）に起因するものか、又格子自身の固有の性質によるものか不明であった。我々は多大の努力の末、高純度鉄結晶を作製し、低温で降伏強度の急激な増加を引き起こす実体が、らせん転位の芯構造にあることを明らかにした。高純度化という作業は、単に全研究過程の一部にすぎないように見えるが、研究がその物質の本性を対象にする限りにおいてはある意味で最も重要でかつ不可避なものでもある。



77K で電子線照射された鉄の特徴的な軟化を示す。

さらに添加される合金元素の塑性への影響についても、上述の研究が明らかにされ、又高純度鉄を母材として使用することにより、はじめて本質的なものとしてとらえることができる。我々は最終的には実用合金鋼の強度の解明に目標を置くが、単純な系で合金鉄の塑性の基礎的研究を行った。一つは侵入型合金鉄 ($\text{Fe-N}_3\text{C}$ 合金)、他は置換型合金鉄 (Fe-Ni , Si 合金) である。これらの合金は、特徴的な固溶体硬化軟化を示し、その機構は合金元素と転位との相互作用の立場から論じられた。

一方、現在、問題となっている核融合炉（あるいは原子炉）という特殊環境下で材料が被る照射損傷の強度への影響も、材料格子中に導入される照射欠陥と転位との相を作用の機構を解明することにより明らかになる。以上の事から鉄の塑性に及ぼす合金効果、照射効果は共に、“点欠陥と転位との相互作用” という観点から統一して議論することにより、それらの物理的現象もより明らかになると考えられる。

TRIAM-1M のプラズマ位置断面制御

トライアム実験グループ	伊 藤 智 之, 中 村 幸 男
高エネルギー力学研究部	平 城 直 治, 中 村 一 男
	田 中 雅 慶, 永 尾 明 博
	川 崎 昌 二

§1. ま え が き

TRIAM-1M では、単純円形からD型（楕円度 $K < 1.8$ ）までの各種断面形状をもつトカマクプラズマの生成が可能である。上下に伸びた楕円あるいはD型断面のプラズマは円形プラズマに比較し、局所的な不安定性の抑制、平衡可能な臨界圧力の上昇という勝れた特徴を示す。

非円形断面プラズマの生成には、外部導体電流の作る磁場（外場）に特定の空間分布を持たせる事が必要であるが、このような外場は生成されたプラズマに垂直方向の位置不安定性による平衡位置からの急激な変位をもたらす。追加熱その他の原因でプラズマの電流・圧力が変化すると、平衡に必要な外場の分布も変化し、水平方向の位置・断面形状も設定値からずれる。それ故、非円形断面プラズマを安定に生成する為には、水平・垂直位置と断面に対するフィードバック制御によって変位・変形を補正しなければならない。本報告では TRIAM-1M のプラズマ位置断面制御の概要及びフィードバック系の設計について述べる。

§2. 位置・断面制御系の構成

TRIAM-1M のプラズマ位置・断面は2系列のフィードバック系によって制御される。水平位置・楕円度は SP コイル, SN コイルの作る一様垂直磁場、四重極磁場で制御される。垂直位置は BH-FB コイルの作る水平磁場で制御される。これらの位置・断面に対する変位・変形は、磁気プローブとログスキーコイルによるポロイダル磁場分布の測定から検出される。検出信号は制御用計算機によって実時間で処理され、フィードバック電源の入力信号に変換される。電源によって駆動された制御コイル電流は

外場を変化させ変位・変形を補正する。水平位置・楕円度制御系は大電力・高精度の制御機器を必要とすることから、12φサイリスタ電源とデジタル計算機より構成する。垂直位置制御系は制御動作の速応性を重視し、PWMインバータ電源とアナログ計算機より構成する。

§3. フィードバック系の設計

水平位置と楕円度は SP コイル電流と SN コイル電流で同時に制御される為、両者の制御系は互いに独立ではない。このことは PID 補償に代表されるスカラー制御系の設計を困難にする。そこでベクトル制御系の設計に適した最適レギュレータの設計法を適用する。最適レギュレータは系を記述する位置・断面あるいはコイル電流等の物理変数を全てフィードバックするので制御系の安定性が良い。この利点を考慮して、位置不安定性による大きな変位が予想される垂直位置制御系においても最適レギュレータの設計を行なう。本報告では、垂直位置制御系を例にとり、設計の具体的手法及び制御動作のシミュレーション結果について述べる。

海洋環境の計測とシミュレーションに関する開発研究

一対馬東水道海域における夏期の大気海洋相互作用一

海洋共同研究グループ

海洋環境研究部 水 野 信二郎

従来、対馬暖流は黒潮の一分枝流として九州西岸沖を通過し、日本海に流入する海流とする見方が有力であったが、最近の水塊分析や人工衛星熱赤外面像の解析から、主に黒潮系水ではあるが、東支那海水と混合しながら北流する海水と黒潮から間欠的に切離された海水が北へ向かうことが知られてきた。又、対馬暖流は黒潮とは異なり季節変動が著しいことでも知られている。

本講演では、はじめにこれらの特徴を説明することに成功した最近の研究成果を2, 3紹介する。次に、1983, 1984年の夏期の約2ヵ月間、所内海洋共同研究の一環として対馬東水道と玄界灘で行った定置測流の結果、又同時に津屋崎観測塔で大気・海洋間の熱収支を計算する為の観測を行った結果について概要を述べる。

対馬東水道における流速は、主に半日周潮流成分、日周潮流成分及び更に低周波の対馬暖流の三つからなり、三者ともほぼ同じ程度 (30cm/s) であった。又、対馬暖流の流向は東北東、半日・日周潮流の主方向は北東一南西向きの振動流に近い。対馬暖流は、台風などの気象攪乱の影響をうけない限り、かなり安定である。これは、地形拘束によるものであろう。潮流の調和分析から、半日周潮流は定在波型であるが、日周潮流は進行波型であるという興味ある結果が得られた。玄界灘海域の水温変動は、夏期には大気・海洋間の熱収支とは殆んど無関係に変動し、秋期になると熱収支と相関がよくなることがわかった。

海洋の音波トモグラフィーをめざして

海洋環境研究部 本地 弘之

もて余すほど広い海洋の計測を効率よく行ううまい方法はないだろうか？ 海の表面だけなら人工衛星でまにあう。しかし、海の内部は光にも電波にも不透明である。幸い、海は音に透明である。それなら、ちょうど生体内部を断層診断するように、海洋内部の流れ場を音波で一挙に描き出すことができるはずではないか。この考え——海洋の音波トモグラフィーの実現性について話す。

話の構成は次の通り。

1. 歴史
2. 音響環境としての海洋
3. 音波トモグラフィー（狭義の）
Munk-Wunsch スキームのレビュー
4. 音波トモグラフィー（広義の）
予備実験の例

船舶の波浪中の抵抗増加

海洋災害研究部 大楠 丹

船が波浪中を走ると、波浪によって船体が動揺することと、波浪が船体によって反射、回折することが原因となって入射波が乱される。この攪乱によって船の抵抗は平水中を走る場合より増加する。これが波浪中の抵抗増加である。

入射波と、その船による攪乱が合成された波動が持ち去るエネルギーが、抵抗増加にさからって船が走る時の船の消費するエネルギーの増加に対応している。したがって波浪中の抵抗増加は造波抵抗である。

波浪中の抵抗増加の機構は良く判っており、その船型との関係を推定する理論の精度も十分であるとされてきた。しかしながら、我々によって開発された波浪中を走る船のまわりの波形を観測し、解析する技術を用いた水槽実験によって、現有の線型理論では説明のできない事実が最近明らかにされ、抵抗増加の推定理論の改良がせまられている。

この報告では、抵抗増加の理論の現状を説明した後、最近明らかにされた実験結果を示す。次いで現在試みられている理論の改良の方向にも簡単に触れる。

低レイノルズ数領域における二円柱まわりの流れ

流体研究部 辰野正和

1. ま え が き

複数の柱状物体まわりの流れについては、実用的な面で重要であり、色々の研究がなされている。殊に、二円柱は、その基本的な構成として多くの研究報告がある。しかし、今まで調べられているのは、レイノルズ数の高い領域についてがほとんどである。

ここでは、レイノルズ数の極く低い領域における二円柱のまわりの流れについて調べた。レイノルズ数の極く低い、いわゆるストークス流中での流れの特異な振舞いと、それぞれの円柱が受ける抗力の変化に焦点をあてて実験を行った。

2. 実 験 方 法

小型の水槽にグリセリンを満し、この中にモデルの円柱を入れ、電車で一定速度で曳航する。

抗力の計測は、板バネと歪みゲージを組み合わせた装置によった。流線模様の観察のためには、アルミ粉末又はガラスビーズを利用した。

3. 実 験 結 果

3.1. 流 線 模 様

二円柱が接近すると円柱表面で流れが剝離するという特異な現象が見られる。図1は、等しい大きさ

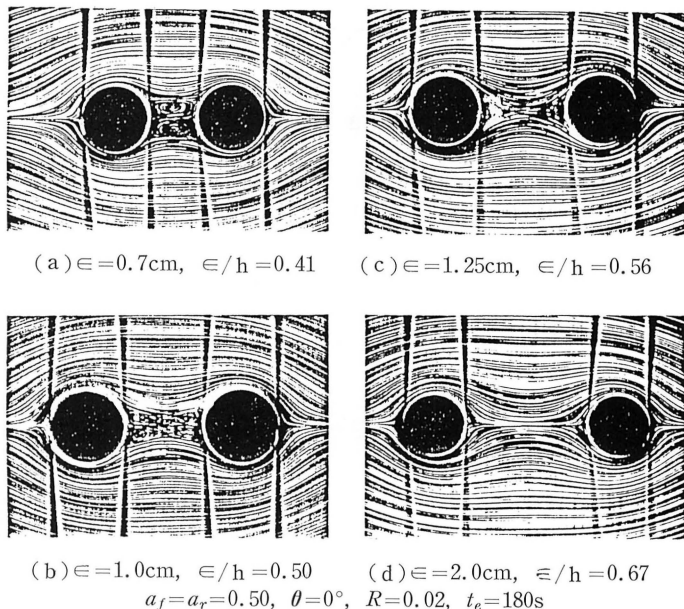


図 1 直列二円柱まわりの流線模様

の二円柱が流れ方向に直列に並んだ場合であり、二円柱間隙の違いによって、種々の剝離渦模様が観察される。ここで、 a_f , a_r は、それぞれ上流側、下流側円柱の半径、 e は、二円柱の間隙、 h は、二円柱中心間距離、 θ は、二円柱を結ぶ線の主流との傾き、 R はレイノルズ数、 t_e は露出時間である。

二円柱を結ぶ線が主流方向と傾いた場合、流れの剝離は、円柱間隔、傾き角度、二円柱の大きさの比に強く依存する。

3.2. 円柱の受ける抗力

二円柱が接近すると、単独円柱の場合に比べ、それぞれの円柱の受ける抗力は著しく減少する。二円柱の間隙が小さければ小さい程その減少の度合いは大きい。図2は、異なった大きさの二円柱が流れ方向に直列に並んだ場合の、上流側の小さい円柱が受ける抗力の測定結果である。同図には、等しい大きさの二円柱の場合のデータも示されているが、後方の物体が大きい程、前方の物体の受ける抗力は小さくなることわかる。

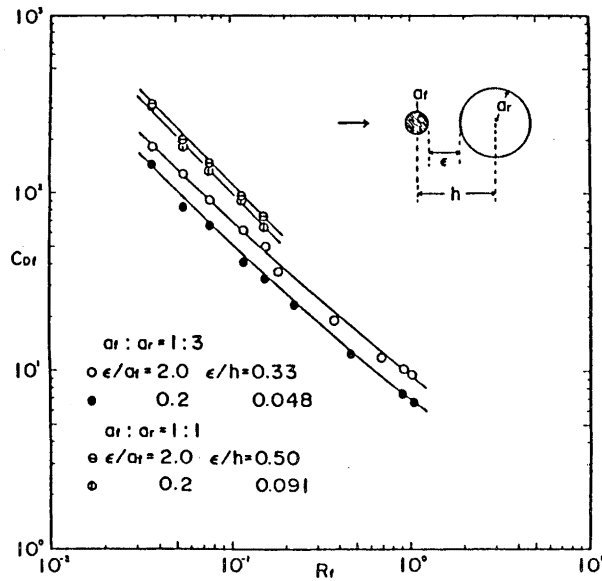


図2 上流側円柱の抗力係数, R_f は上流側円柱の R 数