

超高流束協奏材料ユニット 質疑応答

Q：プロトン-ボロン核融合反応用の材料を作った発表について、ボロンは10と11が自然比で決まっているが、ボロン11を抽出して100%に近いものを作ったのか？

A：現在は市販のボロン材料を使用している。次のキャンペーンではボロン11を濃縮した原料で製作してインジェクションする計画を立てている。ボロン10を除いた形で製作できる。

Q：粉末状態で取り出せるということか？

A：原料試薬は、粉末状態なのでちょうどよい硬さに焼結し、ペレット状に加工して射出する。

C：核融合科学研究所の研究は開放系の非平衡物理学であると言ってもよいのではないかと確をもっており、興味を持って聞いた。今日はあまり話されなかったが、学術的な一般化という意味では長寿命化に一番興味がある。長寿命化というと、一般論、普遍的なものを見つけようとしていると解釈した。そういう意味では、このユニットが最初の実験的だが、そこからインフォマテックスを入れていくというように発展させていくことなので、その次にはシミュレーションを入れてほしい。非平衡開放系を一番定量的に研究できるのはシミュレーションではないか。ただシミュレーションでは、非常にミクロは話だけでなく、開放系で外からエネルギーが入ってくるということはマクロな問題になる。マクロな強力なエネルギーが入ってきて固体全体が弾性学的にそのエネルギーを吸収する。それによって内部での色々な化学反応や結合破壊のようなミクロなプロセスが起こる。しかし弾性材的な現象はスケールの違いでは3次元では10の20乗くらいは違うのではないか。そのスケールの違うものを一緒に解析する手法がないかどうか。マクロとミクロという普通ではコンピューターでは絶対に一緒に扱えない問題をいかに結び付けていくのが重要な考え方になる。このユニットもそういう方向に進んでいただきたい。そうするとインフォマテックスで材料的にはこういったものが良いと出てきても、そこから本当に学術的に長寿命化まで持っていこうとすると、シミュレーションというものがようになる。

例えば、地震のプレートの衝突は外部的なマクロな要素で、それが岩石の破壊に至って、それが爆発的なエネルギーになる。その前に弾性的な形でさらにエネルギーを貯めた形で、開放系の中の準安定的なものがあるのではないか。それ以上やるとはやり破壊に行く。そういった、化学反応も含めて準安定的な状態を求めていく、そういったものの一般論的なものを求めていくということがターゲットになるのではないか。そのためにはやはりMMI（マクロマイクロインタラクション）シミュレーションアルゴリズムといった、例えばマクロな弾性方程式に対してミクロな要素を1個だけ入れるとか、2個だけ入れるとかいうことが、どのように反応するか考える。そのためにはミクロな分子動力学、あるいは化学反応を入れた量子力学、それと弾性体そのものがどういった形でエネルギーを伝えていくのかというマクロなもの、それらを合体するようなものをシミュレーションを入れた形で、この10年間の間に何らかの科学的な結論を出してもらえると、ありがたい。

A：我々の目指すところは、材料物性が非平衡開放系の規則構造とどうつながっているのか、ということ深く理解したい、それを制御することがモチベーションである。どう制御するかについては、プラズマ同様に規則構造がフラックス駆動なので、うまく使用環境を整えてインプットするエネルギーを制御すれば、寿命自体も定常を捕まえて制御できるだろう。

ただしそれが崩壊するところである寿命は、やはり実験でやるしかないと思っている。例えばプラズマの方で定常プラズマがいつ壊れるかというのがシミュレーションで予測できるようになると、材料の方にも取り入れられると思っている。いまのところは崩壊のところはフラックスを変えて実験的にやるしかない。

A：空間、時間スケールに応じて色々なシミュレーションをきちんと連携させていって、しっかりとメカニズム解明することを最終的には目指している。一方でマテリアルインフォマティクスは、途中がシミュレーションで追いきれない場合でも、機械学習等で特性の良い材料を早く見つけてしまう。場合によっては、この材料は理由が分からないけども良いというものが見付き、後からシミュレーションで解決するという、今まで考えていた研究手順とは順番が逆になることも出てくると思っており、材料科学研究者と進めていく。

Q：新しい多重イオンビーム照射プラットフォームについては予算が通っていないという話であったが、このうちいくつかの加速器はもうすでにあるのではないか。実際のところどの装置を購入する必要があるのか？全部購入が必要か？

A：全部新しく購入できるというのが良いが、例えば、総合工学実験棟にあるタンデム加速器は材料中の表面付近の水素等の分析に用いるものであるが、電流値が小さい。もし既存の装置をなるべく生かすということであれば、HIBP 装置ではLHDに重イオンを打ち込んでプラズマの状態を調べる研究をされている。その装置をLHD実験の後に使わせていただけるのであれば、今は地下からLHDのある上の方に上がっているビームラインをまっすぐ延ばすことで材料照射ができるようになり、まずはビームライン一本で照射プラットフォームの第一歩を踏み出せるのではないかと考えており、関係の先生方とやり取りをしている。加速器も大事であるが、チェンバーでどのような環境を模擬するか、また、その場測定のような測定の高度化でユニークなものを打ち出していくべきと思っている。

Q：イオンビームでダメージを与えた時の材料の変化は、中性子照射での変化と同等であるか。dpa(displacement per atom)を揃えたら同等と考えてよいのか、材料研究者の方ではどのような認識になっているのか？

A：材料試験炉での中性子照射では大体一か月のサイクルで0.1dpa。この0.1dpaを加速器でやろうとすると10分で終わる。損傷速度が加速器の方が大きい、一般的には損傷速度が大きい方が損傷の効果は軽減されるので、危険な側の評価になる。加速器照射で確認した現象は、やはり中性子照射で追試をしないとイケない。一方で、加速器は10分で終わるので、温度や照射量を短期間で細かく変えて、例えば材料創生でいろいろと候補材料があった時にどれが照射に強そうかをセレクションするための相対比較には使える。一番強いものを何個か選んで中性子照射に持っていく。また、照射量と何かの物性変化の関係についての理論を作った時に、照射量を増やしていった時の傾向を加速器で確認する。中性子照射の方は、その依存性が特徴的に変わるポイントを選んで検証するといった手法になるので、加速器があれば中性子照射が必要ないというわけではない。どちらもうまく使って進めていく。

Q：最終的には、中性子照射で確認しないと研究としては完結しないということか？

A：はい。その機会が限られるので、加速器で十分に理論を作って良い条件を選んで中性子照射を行うことになる。

Q：導入を目指している高エネルギーイオンビームは、いずれも注入もしくはダメージを作るために使われているように見える。NRAとかRBS分析等、表面分析のためにビームを使うという発想はあるか？

A：構想している加速器のエネルギーや電流値が大きすぎるのであれば、ますます複合化にはなるが、解析用のビームラインを足すことは考えられる。照射中のその場測定については、ほかにも光を利用して表面近傍の粒子のやり取りを見るといったことも可能性があると考えている。先ほどの報告では中性子照射を模擬する環境を作り出すプラットフォームを紹介したが、その場測定の高度化として、様々なビームをプローブとして打ち込むこともさらに加わる。

Q：プラズマ放電ではその場観察、プラズマを打っている間に表面がどのように変化するかを分析することが重要である。材料の観点からも、イオンを打っている間にある元素が表面にどのように析出するかという過程をその場観察で調べる等、照射をしているときに変化を調べることは非常に有効な手段だと思うので、ぜひ検討いただきたい。分析には、重水素は使えるのか？重水素が使えるとNRA分析や昇温脱離ガス分析などを実施する際に非常に便利である。

A：中性子の発生など精査しながら検討を行いたい。重水素を使った方がバックグラウンドに埋もれずにデータが取れることなどメリットは認識している。