



2.15 不安定核をプローブとした物性研究 CONDENSED MATTER STUDIES WITH RADIOACTIVE ION BEAMS

旭 耕一郎^{1,2}、三好 永哲^{1,2}、島田 健司^{1,2}、伊藤 孝¹、小林 義男²、
上野 秀樹²、村田 次郎^{2,§}、佐藤 涉^{2,#}、渡邊 寛²、吉見 彰洋²

¹東工大理、²理研

K. ASAHI^{1,2}, H. MIYOSHI^{1,2}, K. SHIMADA^{1,2}, T. ITOH¹, Y. KOBAYASHI²,
H. UENO², J. MURATA^{2,§}, W. SATO^{2,#}, H. WATANABE², A. YOSHIMI²

¹Department of Physics, Tokyo Institute of Technology

²RIKEN (The Institute of Physical and Chemical Research)

§1. はじめに

20 世紀の最後の 10 年は、その前の時期から登場していた「不安定核ビーム」が、強力な実験手段としての発展を遂げ実際に世界の有力な研究機関によって採用され、核物理における新しい学問領域を形成した時期であった。今世紀にはいってこれらの施設はさらに広範囲かつ高強度の不安定核ビームの供給を目指して新規計画を打ち出している。このような状況から、「不安定核ビーム」はもはや核物理学の道具であるにとどまらず、これを物質科学や生物学など他分野の実験手段として利用することが十分現実的になりつつあるといえよう。約 3 年後に完成を控えた理研の新しい不安定核ビーム施設「RI ビームファクトリー」においても、不安定核ビームを物質構造・ダイナミクスプローブとして利用することを目指して準備を開始している[1]。

§2. 物質内プローブとしての不安定核

スピンを持った不安定核が固体・液体やその表面・界面に埋め込まれると、そこに働く内部磁場や電場勾配とその時間的变化に応じて核スピンは回転、緩和、外部振動磁場との共鳴、等の現象を示し、これらの様子は放出されるベータ線、ガンマ線等の角度分布の変化から知ることができる。図 1 に代表的な手法を示す。

これら不安定核をプローブとする手法はこれまでも低エネルギー加速器で生成した放射性核を用いて利用されてきておりその特徴は「物質内のきわめて局所的な構造・ダイナミクスを高感度に探ることができる」ことであるが、同時にこのことは「得られる情報が局所的すぎて物性物理の観点から興味のある情報に成りえていない」という欠点にもなっている。また目的の放射性核種以外にも大量の粒子が同時に試料をたたき結果 Radiation damage の問題が付きまとっていた。新時代の不安定核プロ

[§]現在の所属： 立教大学理学部物理学科

[#]現在の所属： 大阪大学大学院理学研究科化学専攻

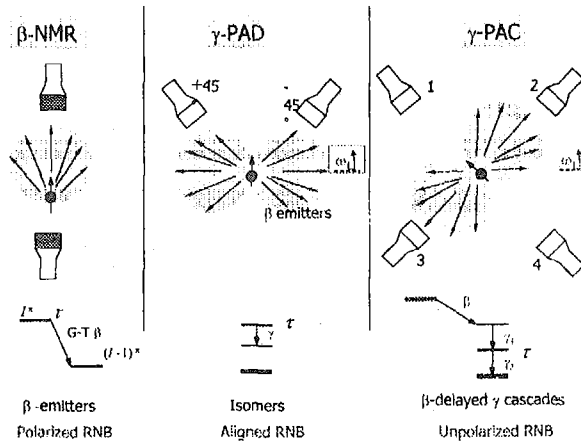


図1. 不安定核をプローブとする実験手法

ープは、i)生成時の一次粒子や同時発生する他核種を分離して目的の核種のみを「ビーム」として試料に導入することによる Radiation damage の回避、ii)超低エネルギー化や試料の微細加工の途中に *in situ* 導入によって表面・界面やナノ構造の特定位置に埋め込む（局所性を積極的に使う）、iii)広範かつ高強度の不安定核ビームを生かしてこれまで適当な不安定核プローブのなかった元素についての研究を開拓する、等々をめざす。

§3. 現在の施設での研究

理研の現有 RI ビーム施設（リングサイクロトロン + 破砕片分離装置 RIPS）を用いて現在進めている研究について紹介する。図2は入射核破砕反応によって生成した不安定核 ^{19}O ビームを用いた

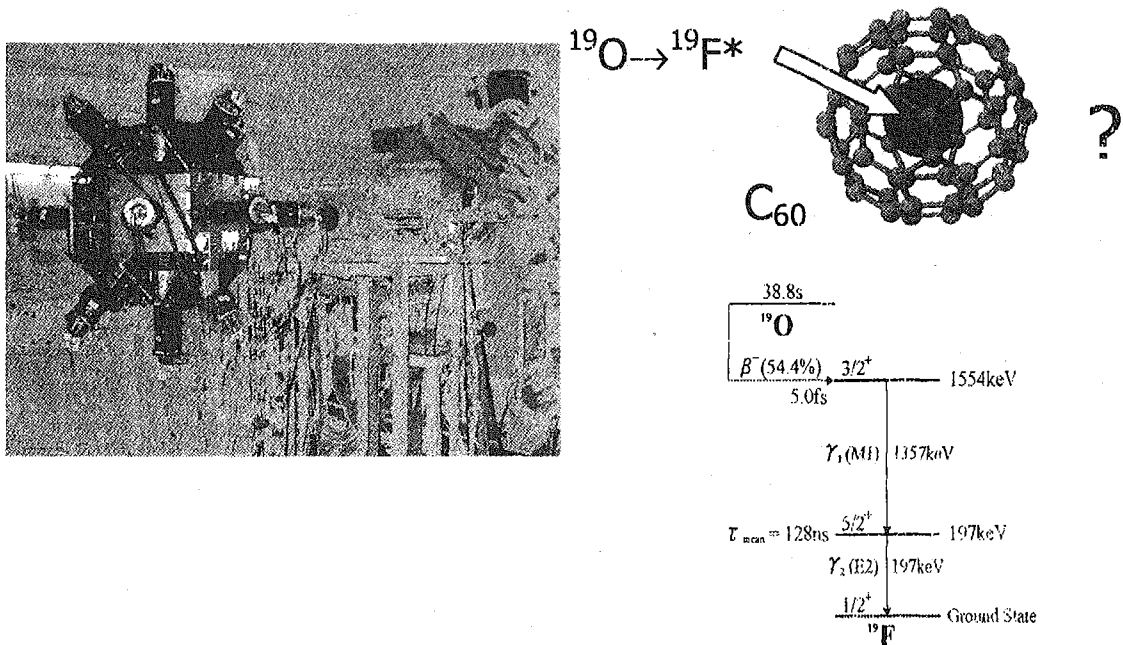


図2. 不安定核 ^{19}O ビームを用いた C_{60} フラーレン中の ^{19}F の位置の研究

フラーレン C_{60} 中の F 原子がとる位置についての研究[2]を示している。F 原子を直接入れる実験はすでにあり、F は C_{60} の中にはいらず外に C-F 結合を形成することがわかっているが、Gaussian 98 コードによる半経験的計算を行うと $C_{60}+F$ 系は上述の外つき型のほか F が中性原子として C_{60} の中心に収まる configuration もエネルギー的に安定であることが示唆され、このような F 原子内包フラーレンの探索は興味深い。現在 gamma-ray perturbed angular correlation (γ -PAC) 実験のデータを解析中である。

Ib 型ダイヤモンドは 1 ppm 程度の N 原子を不純物として含み、ESR の観測から N は C 位置に置き換わってその余分な電子を隣接 C とのボンドの midpoint 位置に持っていることが示唆される[3]。このことから、ダイヤモンドに N 核をインプラントするとすぐそばの電子との超微細相互作用を用いて N 核スピンを制御し、また電子のレーザー励起後の発光強度から N 核スピンの歳差位相を検出できるものと期待される。これは単一核スピンの操作と観測が可能であることを意味し、量子論理素子への応用の観点から極めて興味深い。現在、 ^{17}N 核のベータ崩壊を利用して Ib 型ダイヤモンド中の N 核に働く超微細相互作用を調べるため、ESR 系、レーザー系、 β -NMR 系の準備を進めている。

§4. RI ビームファクトリーに向けて

現在理研において建設が進められている不安定核ビーム施設 (RI ビームファクトリー ; RIBF) では、現有の $K=540$ リングサイクロトロン (RRC) の後段に 2 段のサイクロトロン (IRC 及び SRC) が加えられる。特に不安定核を物質中にとめてプローブとして使う立場からは、IRC までで得られる広範な Z 数にわたる核子あたりのエネルギー $E/A \sim 100$ MeV の大強度ビームが極めて有用である。そこで、IRC からのビームを振り分けマグネットによって SRC 以降の実験と同時進行で取り出し、現有 RIPS へと移送する「戻しビームライン」計画を策定中である[4]。これによってこれまで質量数 30 程度までに限られていた不安定核ビームを、広範な Z 数にわたり、停止して利用するのに適したエネルギーでしかも大強度、豊富な利用時間で得られる可能性が開かれる。さらに、現有 RIPS には放射線シールドを施し、実験者と不安定核ビームが共存できる実験室を実現するための検討を始めている。不安定核ビームの物性研究への利用はこのような条件が整ってこそ、強力に進められるものと思われる。外部の核プローブ物性ユーザーにも開かれた施設として、ぜひ実現したいと願っている。

References

- [1] K. Asahi, Y. Kobayashi, H. Ueno, A. Yoshimi, W. Sato, H. Watanabe, H. Miyoshi, D. Kameda, *Analytical Sciences* 17 Supplement, i613 (2001).
- [2] W. Sato, H. Ueno, H. Watanabe, H. Ogawa, H. Miyoshi, N. Imai, A. Yoshimi, K. Yoneda, D. Kameda, Y. Kobayashi, and K. Asahi, *J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 255, 183 (2003)
- [3] E.C. Reynhardt and G.L. High, *Prog. Nucl. Mag. Res. Spect.* 38, 37 (2001).
- [4] H. Ueno and K. Asahi, *Proc. RIKEN Symposium on Condensed Matter Studies with Radioactive Ion Beams*, February 2002, Wako-shi, Saitama, Japan, pp. 54.