渡邊先生と共に歩んだ MLF 中性子源開発の道

勅使河原 誠, 二川 正敏, 羽賀 勝洋, 原田 正英
(日本原子力研究開発機構 J-PARC センター)

The Path on the MLF Neutron Source Development together with Watanabe- sensei

Makoto Teshigawara, Masatoshi Futakawa, Katsuhiro Haga and Masahide Harada
J-PARC center, Japan Atomic Energy Agency

ABSTRACT

This paper is dedicated to late Professor Noboru Watanabe, who passed away in August 2015

Keywords: *Spallation neutron source, target, moderator, neutron beam line*

2009年3月 N-TACにて

1. はじめに

渡邊先生と私たちとの出会いは J-PARC 黎明期の 1996 年, 大強度中性子源開発に関する大型プロジェクトを推進するために高エネルギー物理学研究所(現高エネルギー加速器研究機構)を退所された先生が日本原子力研究所(現日本原子力研究開発機構)に移って来られた時でした。先生は中性子線源から実験装置に至る全般に渡って造詣が深く, 先見の明に溢れている方でした。ここに, 私たちが先生と共に歩んだ MLF 中性子源開発の道をご紹介します。

2. J-PARC 中性子源ターゲット開発

先生は G. Bauer 博士(故人)と共に水銀を中性子ターゲットの素材として用いることに主眼を置いてプロジェクトを主導されました。ターゲット

の設計に必要な水銀中への高エネルギー陽子入射による発生中性子数, 核発熱, 誘導放射能等のデータ収集のため, 日本, 欧州, 米国で国際チームを組んで米国ブルックヘブン国立研究所の 24GeV 陽子シンクロトロン AGS を用いた "AGS Spallation Target Experiment (ASTE)" の計画に尽力され, 1997 年実施に至りました。この実験では核データの取得に加えて, 水銀中での高熱入力により発生する圧力波について実験的に検証することが課題でしたが, この圧力波に誘起されてターゲット容器内部に発生するキャビテーション損傷の深刻さについて, 当時はまだ誰も知る由もありませんでした。

各国の実験グループは工夫を凝らした計測技術を持ち込み ASTE に臨みました。当時の加速器の運転安定性は非常に脆弱なもので, 昼夜を問わず何時間もの待機を強いられた後にやっと貰うことができたパルス陽子ビームは僅かに 2 発でしたが, 唯一日本チームだけが衝撃波に関するデータを世界で初めて取得することができました。その時の喜びに満ちた先生の笑顔が忘れられないものとなっています。

水銀は厄介な物質です。我々はその見えない・重い・濡れにくいといった水銀特性を操ることの難しさを十二分に思い知らされました。それにも拘わらず先生はいつも前向きで, 我々に常に前に進む勇気を与え続けて下さり, 最初の衝撃波実験から 15 年が経過した 2012 年 11 月, 私たちのターゲットは, 効果的にキャビテーションを抑制する気泡発生機構を搭載して, 加速器からの大強度ビームを受けられるようになりました。

3. J-PARC 中性子源モデレータ開発

ビームを減速させるモデレータは先生の一歩の専門分野です。モデレータこそが最終的に性能を決定する重要なコンポーネントであると先生は常々仰っていましたが、そのモデレータ開発において、液体水素、しかもパラ水素に着目し中性子源を実現したことは先生の最大の功績であると言っても過言ではありません。中性子の減速特性上、一般に、モデレータから得られる中性子強度とパルス幅は相反する関係にあります。我々は、強度が高く且つ幅が狭い理想的な中性子ビームを生み出すモデレータ開発に注力してきました。モデレータ材は当初から液体水素に着目していましたが、液体水素は水素密度が低く、中性子強度を高くできないことが問題でした。そこで先生は液体水素モデレータの周囲に軽水を結合させた予減速機（プレモデレータ）の導入を考案されました。水素数密度の高い軽水を液体水素のまわり配置し、ターゲットからの速中性子を適度に熱化してから液体水素中に導入することで、液体水素中での中性子の衝突散乱を促進し冷中性子化効率を上げるというものです。『工学的なセンスも重要で、ちょっとしたアイデアで如何様にもなる』と幾度となく仰っていたことを思い出します。プレモデレータによりビーム強度は大きく増加し、液体水素中の核発熱もほぼ半減することができました。導入経費も安く、運転コストの削減にもつながる、画期的なアイデアであったと言えます。

液体水素は核スピンの違いによりオルソ水素とパラ水素が存在し、MLF の運転温度 20K では 99.8% のパラ水素となることが知られています。しかし、このパラ水素は 14.5 meV 以下では中性子全断面積が約 2 桁も低くなるため、当時液体水素を用いた冷中性子用モデレータの開発は積極的になされていませんでした。しかし、先生はこのパラ水素の性質こそがパルスの“シャープさ・切れ”につながり、また、“中性子との相互作用（パラ・オルソ変換）によるエネルギー交換で高効率な冷

中性子化が期待できる”と直感し、我々にパラ水素モデレータの容積、形状の指針を与えてくださいました。最適化の結果として、結合型モデレータはこれまでの常識を覆す円柱形状となりました。性能を最大限に引き出すモデレータシステムを作り上げたことで、MLF は 2009 年には 300kW の陽子ビーム出力においてパルスあたり世界最大の中性子強度を達成することができました。

4. J-PARC 中性子源の性能評価ビームライン

MLF には、線源の性能を評価することを目的に設置されたビームライン“BL10: NeutrOn Beamline for Observation & Research Use (NOBORU)”があります。これは他の中性子源施設には見られないものですが、先生が施設の設計段階からその重要性を皆に説き、実現せしめたもので、NOBORU を用いて中性子線源の性能評価をきちんと行うことができました。残念ながら先生と一緒に NOBORU で実験を行う機会には得られなかったのですが、このビームラインに先生のお名前を付けることができたことを私たちは誇りに思っています。

特性試験装置で実施する 実験条件

1. ターゲットの適当な位置
2. 冷却水の流量を調整
3. 照射線方向を調整
4. KEVS or JRR-3 MLF 有り
の条件下で実施
5. コンポーネント、パイプ、材料
等の外部からの放射線による
影響を考慮
6. MLF の運転が安定した
状態で実施

渡邊先生の手書きの打合メモ

5. おわりに

野球がお好きだった先生は、よくご自分のことを3割打者であると仰っていましたが、私たちにとっては、イチローを遥かに超える10割打者です。我々の意見をいつもきちんと受け止め、評価してくださりました。時間を忘れ議論に没頭される姿、使命感を持ち後進の指導に尽力される姿には研究者としての姿勢を教えられました。今後も更なるご指導をいただけるものと期待しておりました。今、先生の教えは、日本のみならず世界で脈々と受け継がれています。先生が人生をかけて、情熱を持って築き上げられた中性子科学を私たちが引き継ぎ、さらに発展させて参りたいと思っています。

渡邊先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます。