

## 加速器駆動可搬型プロトタイプ中性子源 RANS2

### DEVELOPMENT OF THE ACCELERATOR-DRIVEN TRANSPORTABLE NEUTRON SOURCE PROTOTYPE (RANS2)

小林知洋<sup>#,A)</sup>, 大竹淑恵<sup>A)</sup>, 池田裕二郎<sup>A)</sup>, 串間祐亮<sup>B)</sup>, 林崎規詞<sup>C)</sup>,

Tomohiro Kobayashi<sup>#,A)</sup>, Yoshie Otake<sup>A)</sup>, Yujiro Ikeda<sup>A)</sup>, Yusuke Kushima<sup>B)</sup>, Noriyosu Hayashizaki<sup>C)</sup>,

<sup>A)</sup> RIKEN Center for Advanced Photonics, <sup>B)</sup> Cooperative Major in Nuclear Energy, Tokyo City University,

<sup>C)</sup> Laboratory for Advanced Nuclear Energy, Tokyo Institute of Technology

#### Abstract

We have started a development of RANS2 project, which is a prototype of a compact mobile neutron source to be applied in a non-destructive inspection of deterioration survey of in-situ concrete constructs. The principle concept and major parameters of RANS2 has been determined basing on the experimental results at RIKEN accelerator-driven compact neutron source (RANS). The 200 MHz 2.49 MeV RFQ and ECR proton ion source is adopted as the accelerator part along with a neutron production via the  ${}^7\text{Li}(n,p)$  reaction. A lithium target development and a radiation shielding design study are in progress. A status of RANS2 development was reported.

#### 1. はじめに

7MeV 陽子線 LINAC とベリリウム薄膜ターゲットによる理研小型中性子源 RANS[1] の中性子実験を進めている。コンクリート内部の非破壊観察[2]、合金における腐食部分の水の挙動観察[3]、鋼板の応力下における集合組織状態解析[4]等を精力的に行っている。2017年7月から、RANS は性能向上を目指し、ベリリウムターゲットの交換、実験に適したモデレータの交換システムの構築、陽子ビームモニター増設、陽子ビームステアリングの追加など高度化を行っている。

一方、2016年上期から、可搬型加速器中性子源の基礎データ取得を目的として、中性子発生を  ${}^7\text{Li}(n,p)$  反応で行うために 2.49 MeV 陽子線加速器および Li ターゲットを導入したプロトタイプ RANS2 のプロジェクトを開始した。高速中性子イメージング技術開発[5]を主とするが、前述の RANS の研究領域での利用も可能とする。加速器の小型化も含めてシステム全体の大幅な軽量化を実現し可搬型へ向けた実証実験を行う。特にターゲット周辺の遮蔽は中性子エネルギーが低いこと、およびガンマ線量が少ないため、大幅な減量が見込まれる。

#### 2. RANS2 の開発

##### 2.1 RANS2 の特徴

Table 1 に RANS および RANS2 の比較を示す(計算による評価、および想定値を含む)。検討の結果、ターゲットをリチウムとし、陽子加速エネルギーとして 2.49 MeV を採用した。RANS と比較して可搬型を目指す RANS2 は中性子強度は 1/10 であるが総重量で 1/6、全長で 1/3 と車載可能とする圧倒的な小型化を目指す。

Table 1: Specification of RANS and RANS2

	RANS	RANS2
Particle	Proton	Proton
Energy	7 MeV	2.49 MeV
Current	100 $\mu\text{A}$	100 $\mu\text{A}$
Reaction	${}^9\text{Be}(p, n){}^9\text{B}$	${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$
Accelerator	RFQ + DTL	RFQ
Weight(Accelerator)	5 t	3 t
Weight(Target&Shield)	20 t	< 0.7 t (estimate)
Length	15 m	< 5 m
Neutron Yield	$10^{11}$ n/sec	$10^{10}$ n/sec

##### 2.2 RANS2 の主要機器開発状況

RANS2 のイオン源はパルスマイクロ波駆動 ECR イオン源を採用した。既に実施されたミラーコイル励磁試験、水冷試験、真空試験、引出電圧印加試験に引き続き、パルスマイクロ波導入試験を行う。イオン源は長さ約 40cm とコンパクトに設計した(マイクロ波導入部を除く)。試験中のイオン源を Figure 1 に示す。

陽子線 RFQ 加速器は移動式を考慮し、東工大で開発した剛性の高い 3 体構造型を採用した。上部、中間部、下部の三枚の鉄板に機械加工によってベーンを形成し、銅メッキの後再度精密加工を施した (Figure 2, 3)。真空槽と電極が一体構造の採用により、ネジ止め部分がないため、移動に伴う振動により狂いを極力排除した。既に加工は完了し、2017年2月に理研へ納入された(Figure 4)。これまで、真空試験、冷却試験、LLRF から 200 MHz 半導体アンプを介した高周波導入試験、LLRF からのチューナー制御試験が完了し、現在ネットワークアナライザと微小誘電体片を用いた電位分布の精密測定を実施している。その結果を基に可動・固定式チューナー位置

<sup>#</sup> t-koba@riken.jp

が確定する。今後イオン源引出し粒子のエミッタンス測定、イオン源-RFQ を連結しての加速試験に移行する予定である。

リチウムターゲットへのプロトン照射は、装置全体を現在の工学実験棟(非管理区域)からRANS 建屋に移設した後、2018 年度中に行う予定である。ターゲット部については現在熱解析を行い、冷却水路の最適化を図るとともに、遮蔽に関してポリエチレン、ボロン添加ポリエチレン、ボロン添加シリコーンゴム、鉛板(ブロック)、等の組み合わせをパラメーターとして、モンテカルロシミュレーションコード PHITS[6]を用いて材料、形状(寸法、重量などを含む)の最適化を行っている。

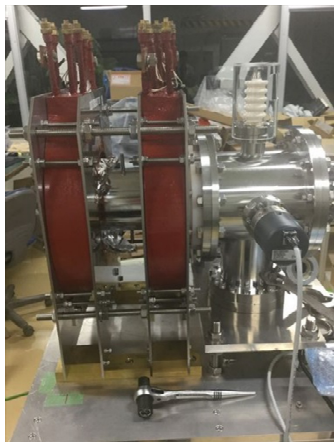


Figure 1: Pulsed ECR ion source.



Figure 2: Machined RFQ part (top part).

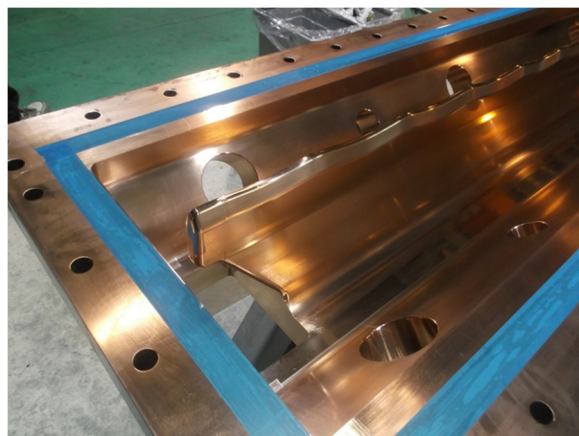


Figure 3: Copper plated electrodes.



Figure 4: The RFQ installed at RIKEN.

## 参考文献

- [1] Y.Otake (partial author), M. Uesaka and H. Kobayashi : Compact neutron source. In A.W.Chao, W.Chou (Eds.) Reviews of Accelerator-Science and Technology, New Jersey: World Scientific, 8 (2016), 181.
- [2] Y. Ikeda, M. Takamura, A. Taketani, H. Sunaga, Y. Otake, H. Suzuki, M. Kumagai, Y. Oba, Nucl. Instr. Meth. A833 (2016) 61-67.
- [3] A. Taketani, M. Yamada, Y. Ikeda, T. Hashiguchi, H. Sunaga, Y. Wakabayashi, S. Ashigai, M. Takamura, S. Mihara, S. Yanagimachi, Y.Otake, T. Wakabayashi, K. Kono, and T. Nakayama: ISIJ Int. 57(2017), p.155-161.
- [4] Y. Ikeda, M. Takamura, A. Taketani, H. Sunaga, Y. Otake, H. Suzuki, M. Kumagai, Y. Oba and T. Ham, IL NUOVO CIMENTO, 38C (2015) 177.
- [5] Y.Otake, "Fast Neutron Imaging for Non-Destructive Inspection for Social Infrastructures: 高速中性子の応用 - インフラ予防保全 - "レーザー学会誌 レーザー研究 Vol.43 No.2, p.71-76 (2015) The Review of Laser Engineering Vol.43 No.2 p. 71-76 (2015).
- [6] T. Sato, K. Niita, N. Matsuda, S. Hashimoto, Y. Iwamoto, S. Noda, T. Ogawa, H. Iwase, H. Nakashima, T. Fukahori, K. Okumura, T. Kai, S. Chiba, T. Furuta and L. Sihver , J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013).