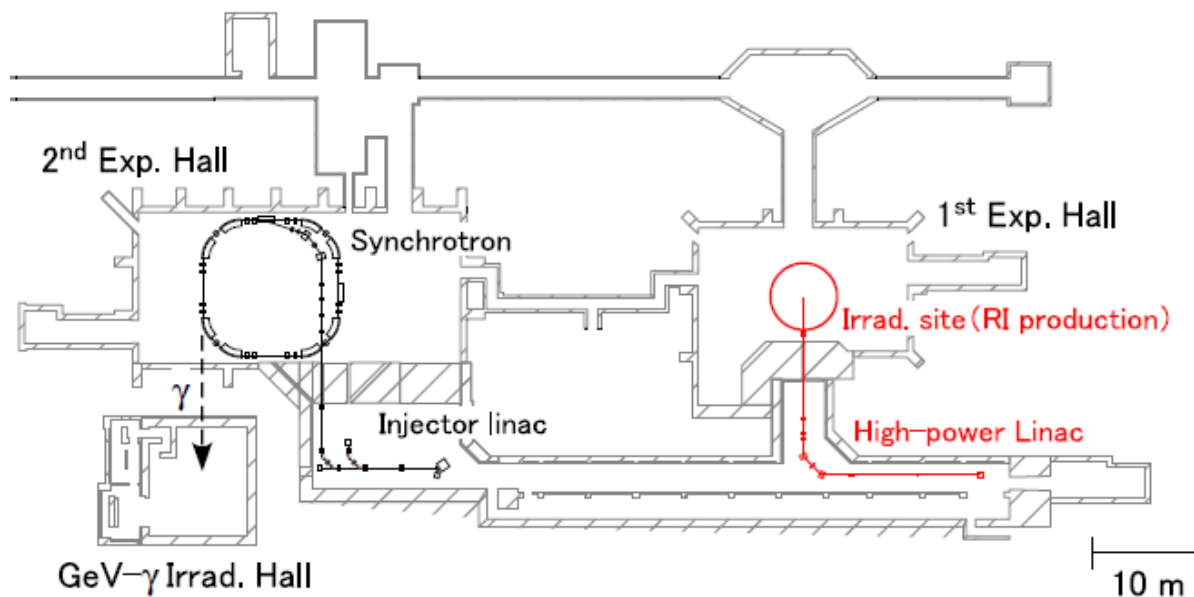


電子線形加速器を用いた 光核反応によるRI製造

東北大学電子光理学研究センター
菊永英寿

電子光物理学研究センター

○東北大学電子光物理学研究センターでは電子線形加速器を用いてRI製造を行っている。



第1実験室(照射ステーション)



大電流電子LINAC

大電流電子LINAC(1967年～)

エネルギー: 20 ～ 50 MeV(弱ビームで～10 MeVも可)

ビーム量: 最大 ～120 μ A

原子核と光の相互作用

○原子核は光を吸収して反応を起こす(光核反応)

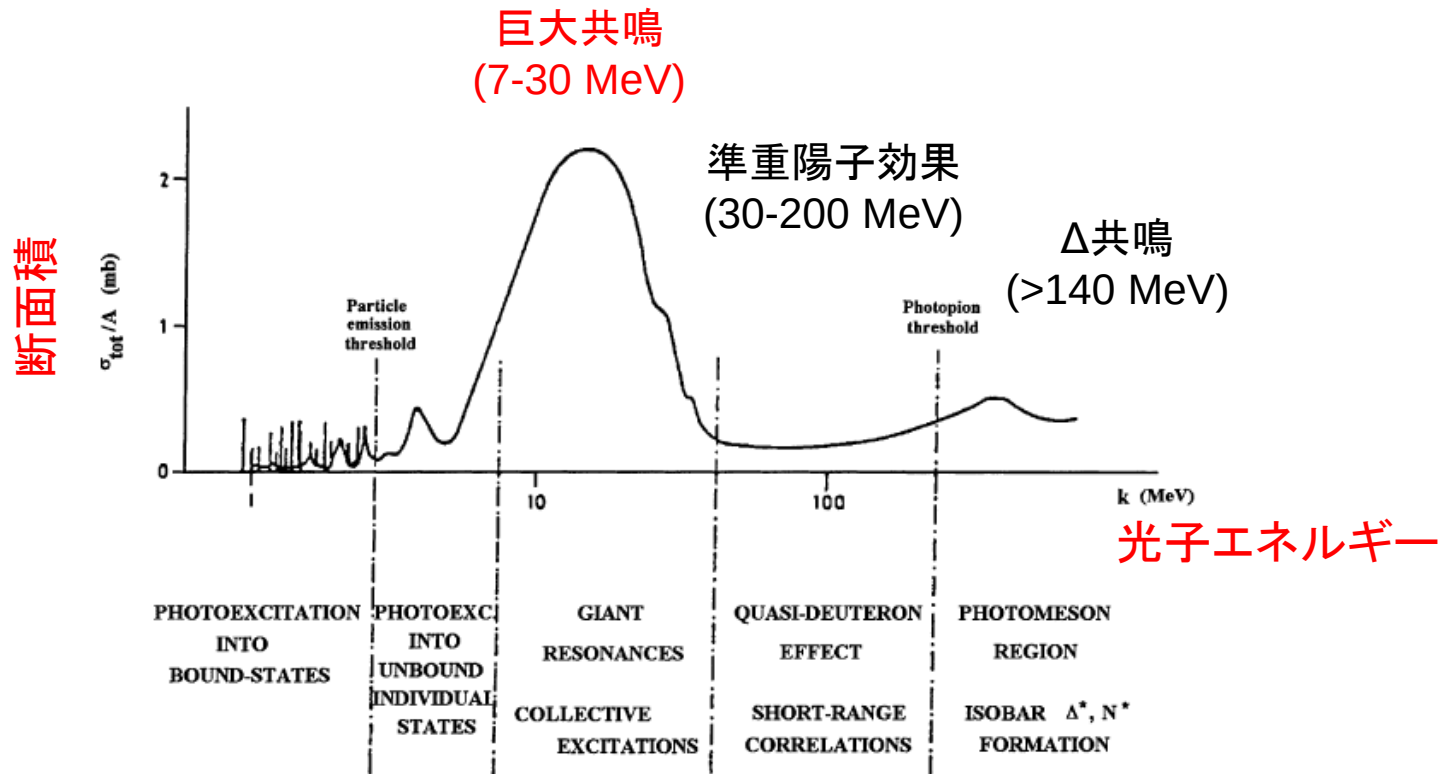
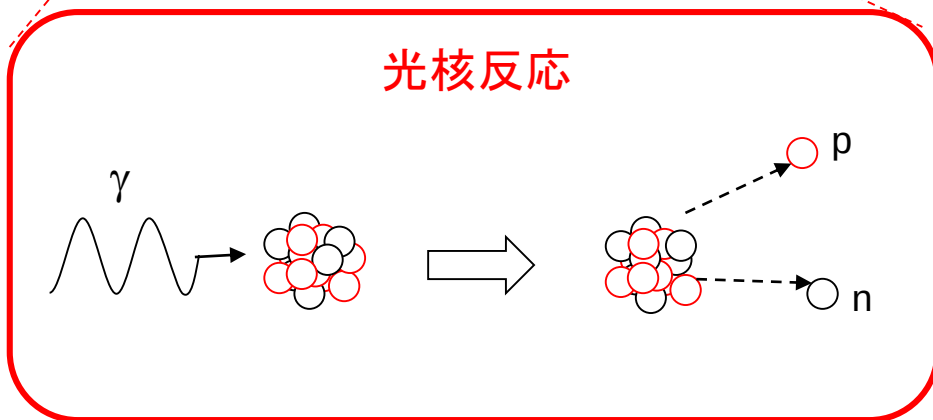
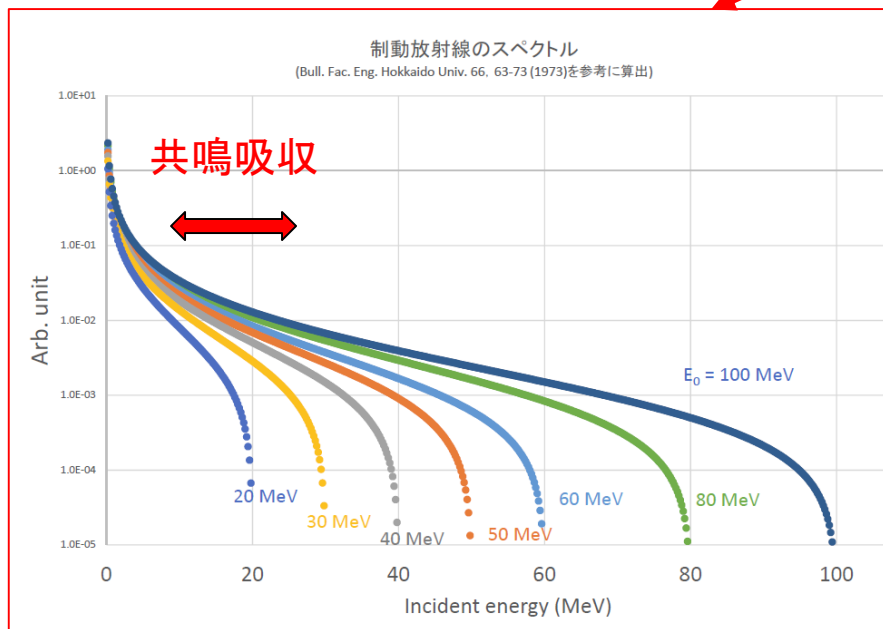
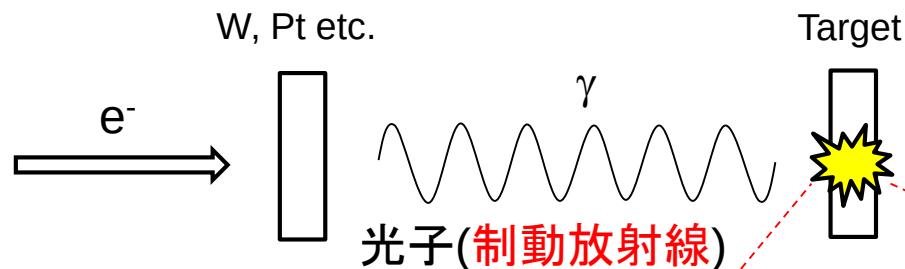


Fig. 1. Total photonuclear cross section as a function of the photon energy k [17].

Nucl Instr Meth B 155 (1999) 373

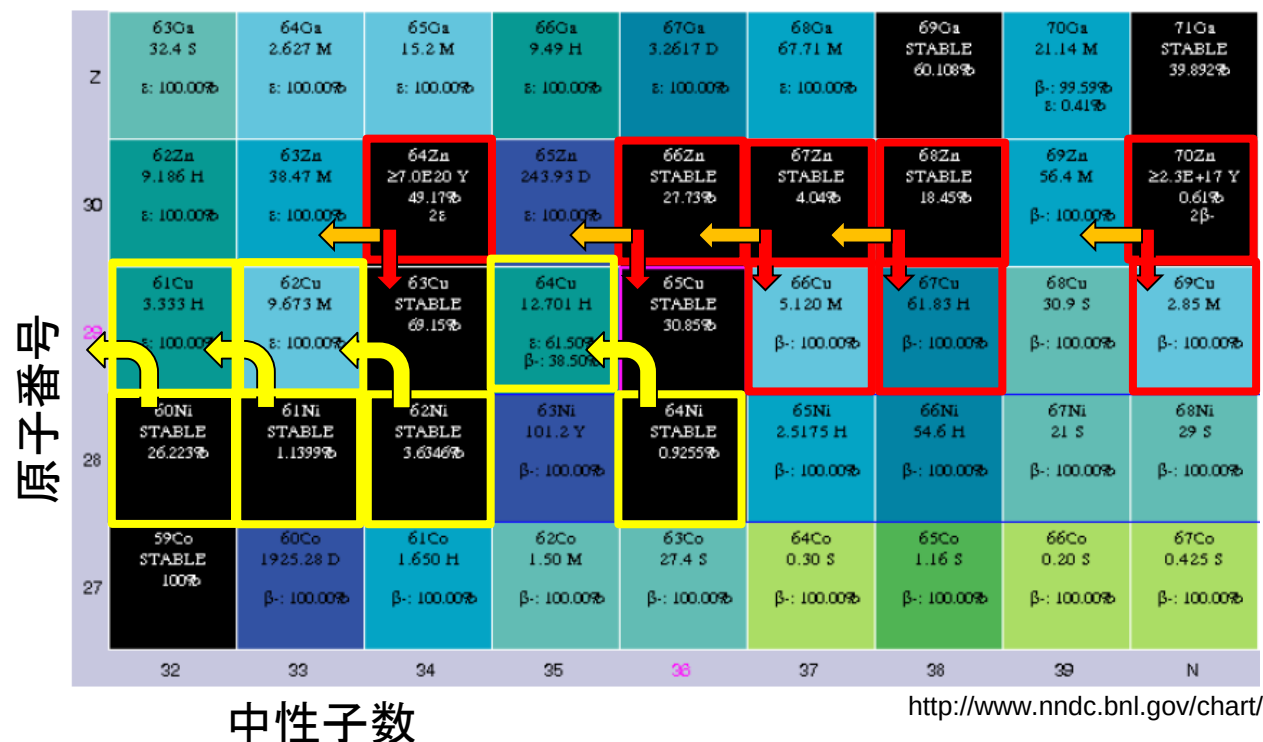
電子加速器によるRI製造

- 加速した電子を物質に入射したときに発生する**制動放射線**を利用
(電子光センターでは主に20-50 MeVで入射)



制動放射線によるRI製造の特徴

○例えばCuの無担体RIを製造するときは・・・

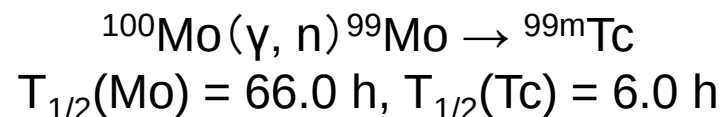
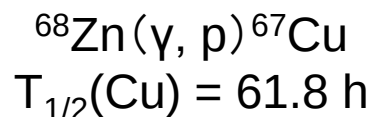


プロトン照射: Niをターゲットにして(p,xn)反応でRIを製造
 制動放射線照射: Znをターゲットにして(γ, p)反応でRIを製造
 ((γ, n)反応生成物も同時に生成)

※サイクロトロンで作りにくい中性子過剰側のRIが製造できる。

制動放射線でのRI製造の例

○核医学核種 ^{67}Cu と ^{99}Mo の製造能力の評価



^{65}Zn 243.93 D ϵ : 100.00%	^{66}Zn STABLE 27.73%	^{67}Zn STABLE 4.04%	^{68}Zn STABLE 18.45%	^{69}Zn 56.4 M β^- : 100.00%
^{64}Cu 12.701 H ϵ : 61.50% β^- : 38.50%	^{65}Cu STABLE 30.85%	^{66}Cu 5.120 M β^- : 100.00%	^{67}Cu 61.83 H β^- : 100.00%	^{68}Cu 30.9 S β^- : 100.00%
^{63}Ni 101.2 Y β^- : 100.00%	^{64}Ni STABLE 0.9255%	^{65}Ni 2.5175 H β^- : 100.00%	^{66}Ni 54.6 H β^- : 100.00%	^{67}Ni 21 S β^- : 100.00%

^{98}Tc 4.2E+6 Y β^- : 100.00%	^{99}Tc 2.111E+5 Y β^- : 100.00%	^{100}Tc 15.46 S β^- : 100.00% ϵ : 2.6E-3%	^{101}Tc 14.02 M β^- : 100.00%	^{102}Tc 5.28 S β^- : 100.00%
^{97}Mo STABLE 9.60%	^{98}Mo STABLE 24.39%	^{99}Mo 65.976 H β^- : 100.00%	^{100}Mo 7.3E+18 Y 9.82% 2 β^- : 100.00%	^{101}Mo 14.61 M β^- : 100.00%
^{96}Nb 23.35 H β^- : 100.00%	^{97}Nb 72.1 M β^- : 100.00%	^{98}Nb 2.86 S β^- : 100.00%	^{99}Nb 15.0 S β^- : 100.00%	^{100}Nb 1.5 S β^- : 100.00%

<http://www.nndc.bnl.gov/chart/>

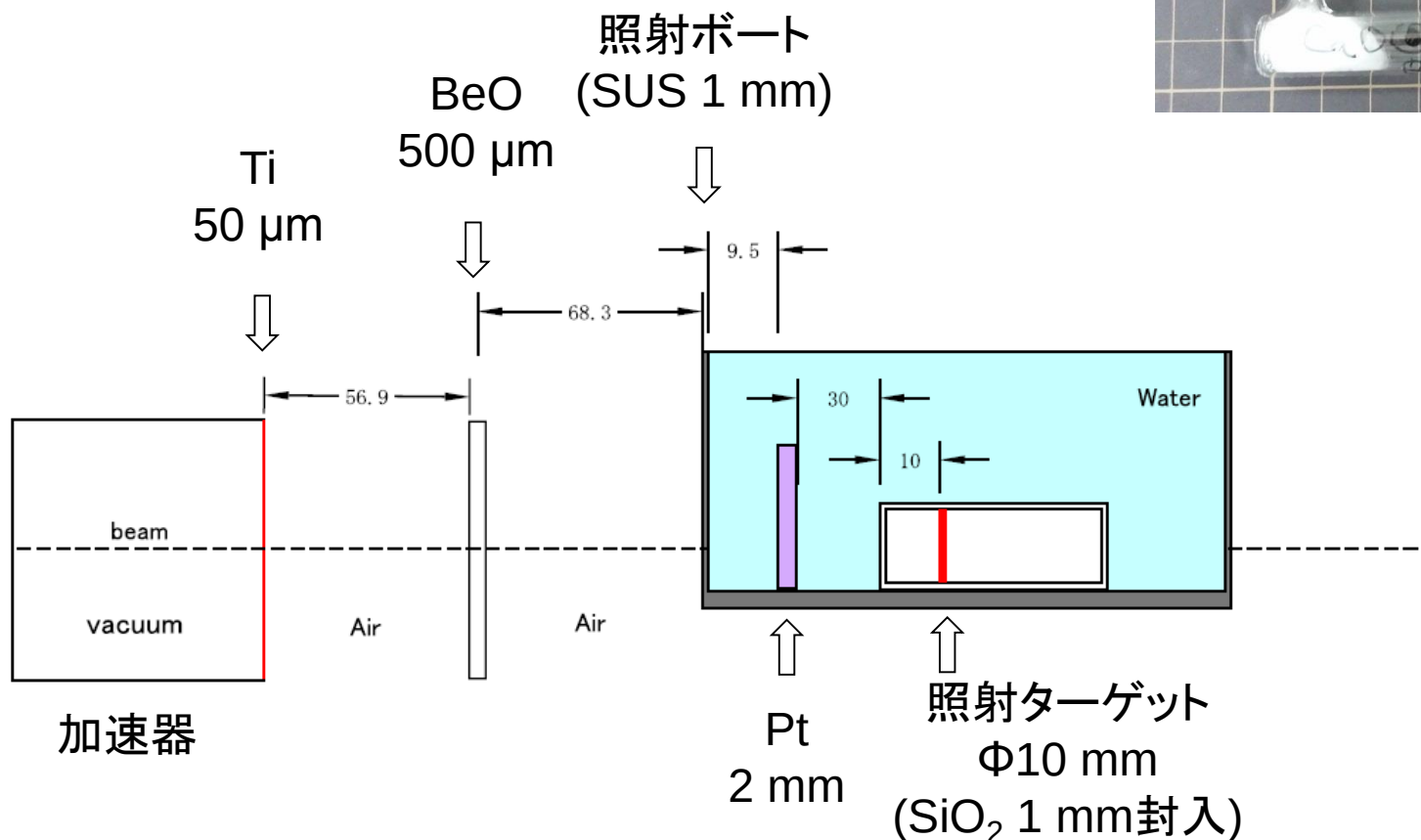
※他にも ^{67}Cu と壊変特性が近い ^{47}Sc ($T_{1/2}=3.35 \text{ d}$)などが製造可能

照射装置の概略図

東北大ELPH 電子線形加速器の性能

エネルギー: 20 ~ 50 MeV

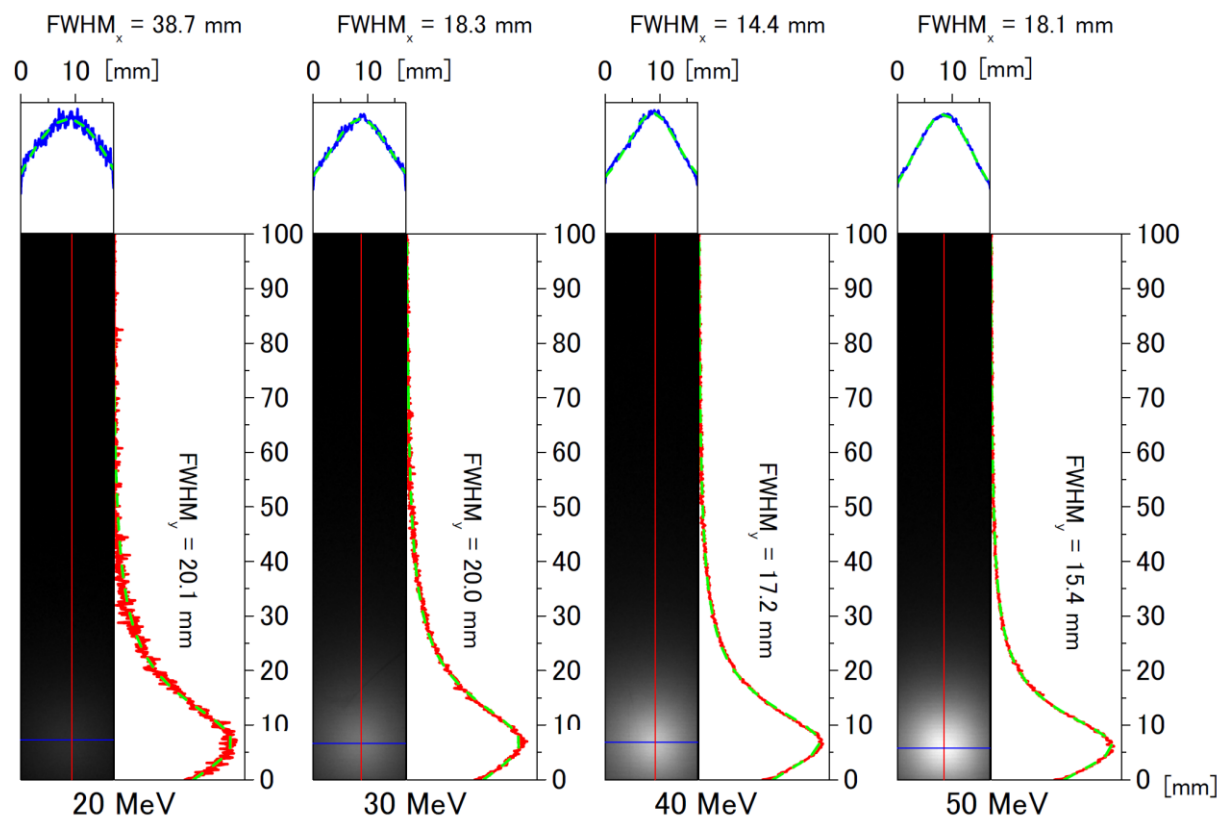
ビーム量: 最大 ~120 μ A



制動放射線の分布

○照射位置での制動放射線の広がり半値幅で15-18 mm程度

⇒ 直径16mm, 厚さ5 mmで1 cm³ { Zn metal: 7.14 g
Mo metal: 10.3 g

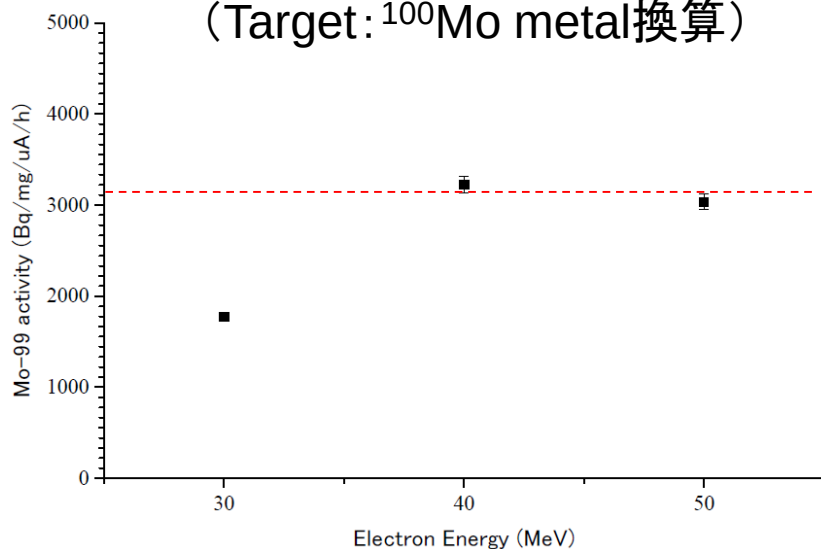


照射位置でNi箔を放射化して
その放射能分布をイメージング
プレート(IP)で測定

当センターでの製造能力

○^{nat}Mo箔, ^{nat}Zn箔を照射して, ⁹⁹Moと⁶⁷Cuの製造量を評価した。

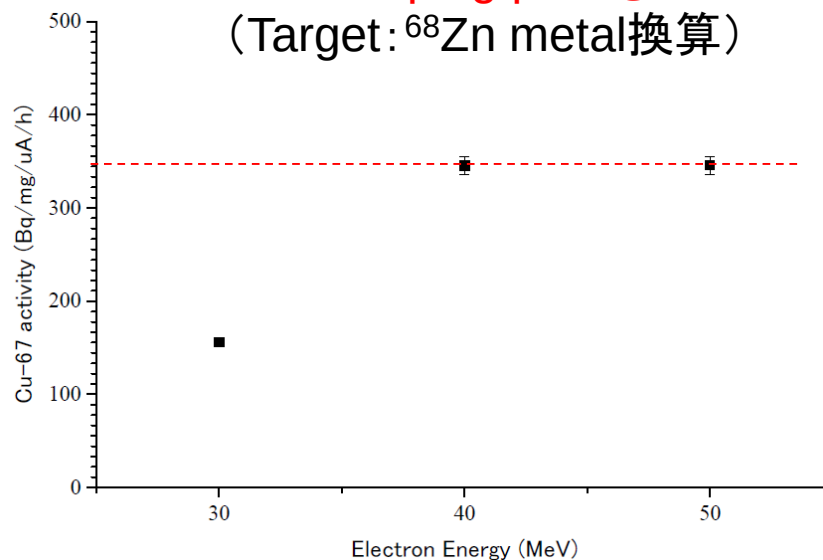
⁹⁹Mo: 3000 Bq/mg/μA/h@40 MeV
(Target: ¹⁰⁰Mo metal換算)



¹⁰⁰Mo metal: 10.3 g
Beam: 120 μA, 8h

⇒ ⁹⁹Mo: 27 GBq

⁶⁷Cu: 345 Bq/mg/μA/h@40 MeV
(Target: ⁶⁸Zn metal換算)



⁶⁸Zn metal: 7.14 g
Beam: 120 μA, 8h

⇒ ⁶⁷Cu: 2.2 GBq

※照射ビームを40MeVと同程度の大きさに調整すると50 MeVでの収量は1.3倍程度になる。

RI供給の例 (^{43}K)

○(γ , p)反応による無担体 $^{42,43}\text{K}$ の製造

※ある植物実験者の「KやClのアイソトープがあると良いなあ」という一言があったので。。。

Ca 40 96.941%	Ca 41 10 ⁵ y EC	Ca 42 0.674%	Ca 43 0.135%	Ca 44 2.086%	Ca 45 163 d β^-	Ca 46 0.004%
K 39 93.258%	K 40 0.012%	K 41 6.730%	K 42 12.36 h β^-	K 43 22.2 h β^-	K 44 22.13 m β^-	K 45 17.8 m β^-
Ar 38 0.0629%	Ar 39 269 y β^-	Ar 40 99.6035%	Ar 41 1.83 h β^-	Ar 42 33 y β^-	Ar 43 5.37 m β^-	Ar 44 11.87 m β^-

$^{\text{nat}}\text{Ca}(\gamma, p)$ 反応による製造



植物実験等にご利用
(Na, Cs等と同時に使用して挙動を比較など)

化学分離(アルカリ金属フリー)

CaO ~180 mg
(^{43}K : ~1 MBq)

← シュウ酸

上澄(K)

沈殿(Ca)

(シュウ酸の分解)

陽イオン交換(Caの除去)

Kトレーサー
(化学収率70-90 %)

まとめ

○東北大学電子光物理学研究センターでは電子線形加速器を用いてRI製造を行っている。

○ (γ, p) 反応, (γ, n) 反応を利用するとサイクロトロンでは作りにくい中性子過剰側の核種を多量に製造できる。

^{99}Mo : 3000 Bq/mg/ $\mu\text{A/h}$ @40 MeV

^{67}Cu : 345 Bq/mg/ $\mu\text{A/h}$ @40 MeV

○ (γ, p) 反応生成物は軽核では (γ, n) 反応に比べて1/10程度の反応収率があり, それなりの生成量が期待できる。

○今のところRIを基礎科学研究に使いたいという要望があってサイクロトロンでは作りにくそうなものを中心にRI製造を行って行く予定。(是非当センターもご利用下さい)