

RI製造及び RIを利用した化学研究

東北大学 先端量子ビーム科学研究センター
電子光理学研究部門 同位体科学研究部 RI科学グループ
助教 横北卓也

RI: 放射性同位体 (ラジオアイソトープ)

原子 : 原子核 (陽子 + 中性子) + 電子

同位体: 陽子の数が同じで、中性子の数 (質量数) が異なる

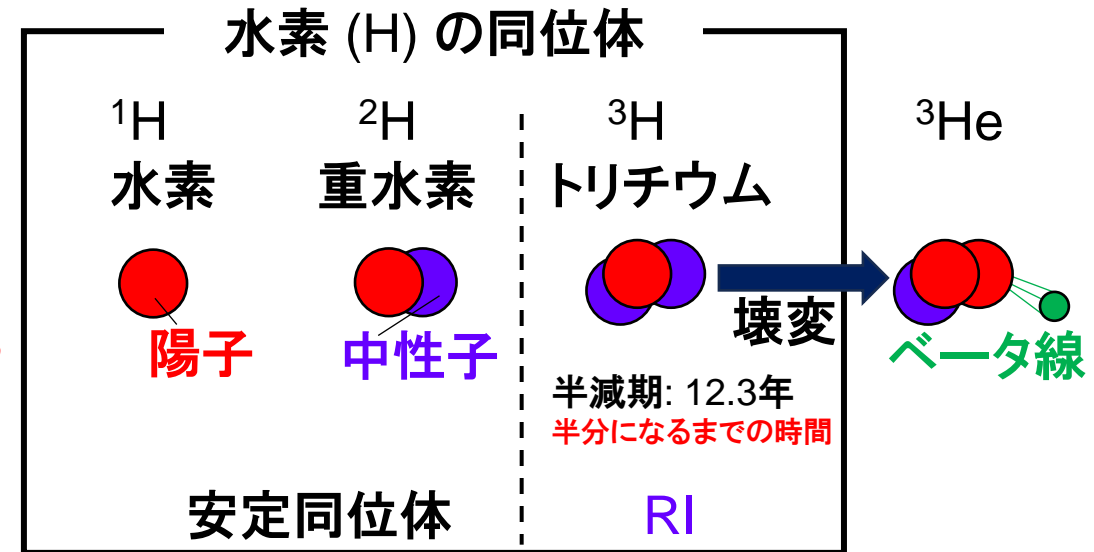
質量数 (陽子数 + 中性子数)

原子番号 (陽子数)



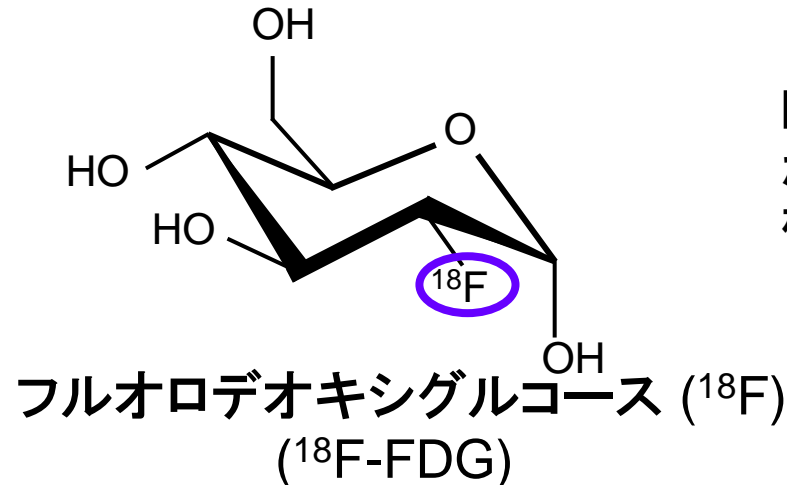
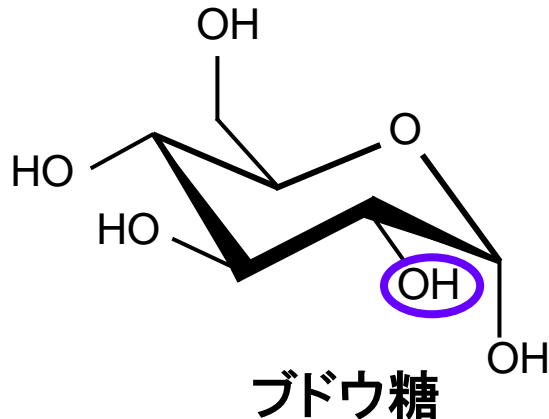
元素は原子番号で決まるため、原子番号を省略して⁴Heのように記述する

RI : 不安定で放射線を出す同位体



トレーサー利用

元素や物質の挙動を調べるため、RIやRIをラベルした標識物質を添加し、放射線を測定し、物理挙動や反応、代謝機能などを追跡 (トレース)
理学・工学・農学・医薬学などの幅広い分野で利用



PET診断

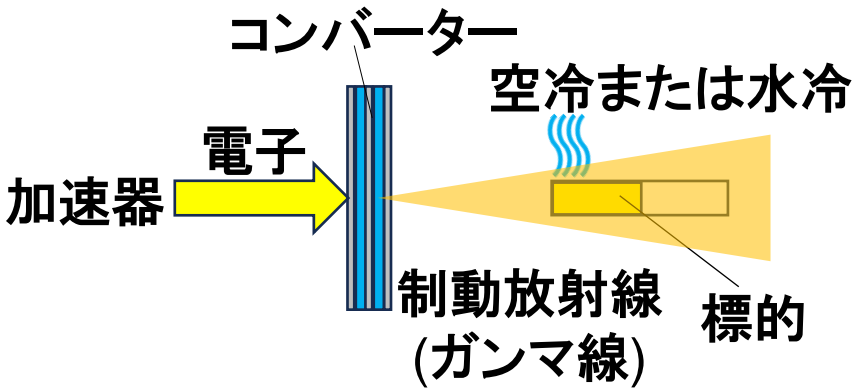
がん細胞がブドウ糖を取り込みやすいため、構造の類似した¹⁸F-FDGを用いた、画像診断

東北大学でのRI製造

先端量子ビーム科学研究センター

制動放射線照射 (三神峯)

加速した電子を物質に入射し、発生する制動放射線を原子核に当てることで起こる光核反応により、RIを製造



大強度電子線形加速器

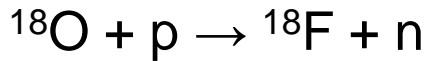


標的

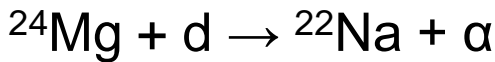
荷電粒子照射 (青葉山)

陽子、重陽子、アルファビームなどの荷電粒子を固体標的に照射し、RIを製造

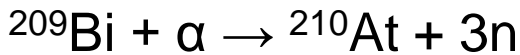
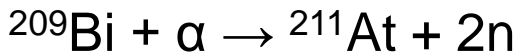
陽子



重陽子



アルファ

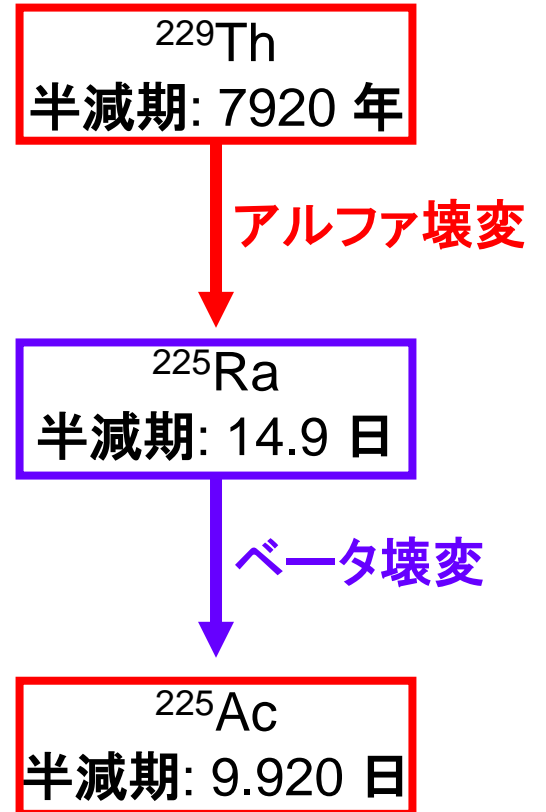


荷電粒子のエネルギーにより、製造しやすいRIが変わる

金属材料研究所

ミルキング (アルファ放射体実験室)

半減期が長いRIの壊変から生成する半減期の短いRIを分離
時間が経つと再び娘核種が生成されるため、繰り返し、娘核種を分離可能



共同研究・共同利用のためのRI製造

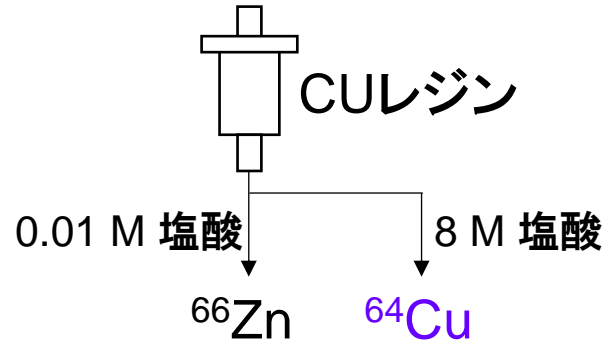
^{64}Cu の製造 (オージェ電子放出核種; 半減期12時間)

制動放射線により、**濃縮同位体の亜鉛66 (^{66}Zn)** からRIの銅64 (^{64}Cu)を製造

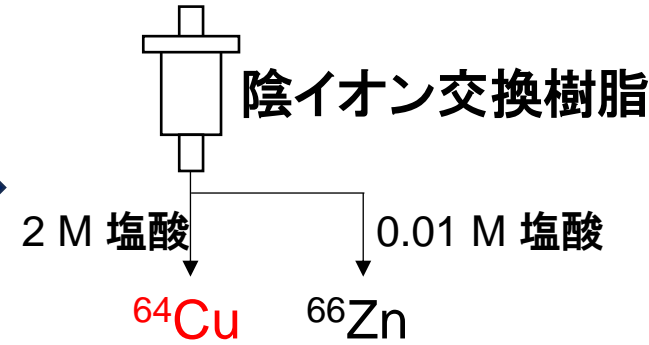
天然存在割合: 27.73%

照射: 3時間・化学分離 約4時間 ⇒ 輸送
製造した翌日に共同研究者が利用

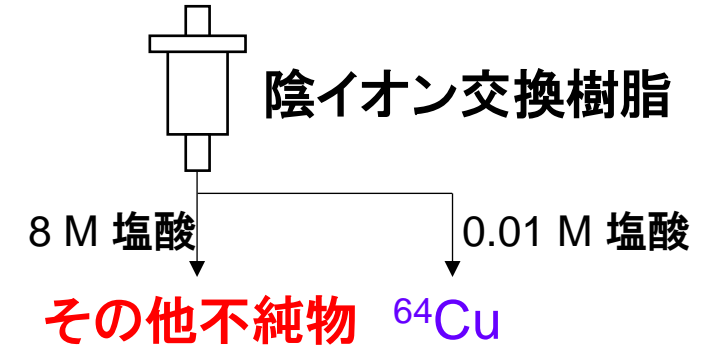
① 大部分の ^{66}Zn を除去



② さらに ^{66}Zn を除去



③ その他の不純物を除去



^{191}Pt , $^{195\text{m}}\text{Pt}$ の製造 (抗がん剤シスプラチンの研究用)

制動放射線により、**白金 (Pt)** からRIの ^{191}Pt , $^{195\text{m}}\text{Pt}$ (放射化)

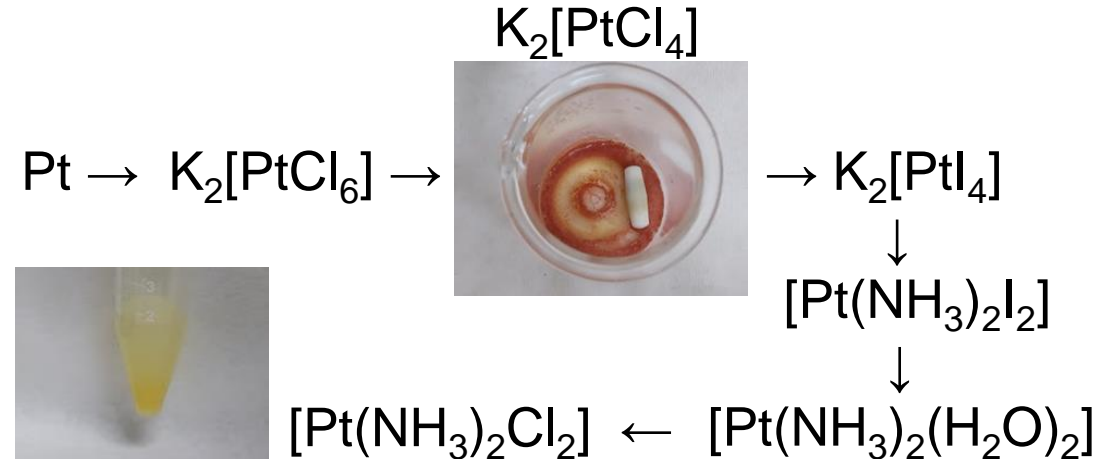
K_2PtCl_4 への制動放射線照射



照射により黒変



金属Ptにビーム照射し、 K_2PtCl_4 や $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ を合成



ビームを強度を上げることができず、
大量製造不可

RIを利用した化学研究: 超重元素Rfの化学

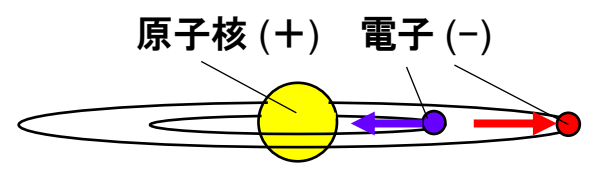
周期表の最下段の元素の性質は?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1																	2
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	104
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf

超重元素

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

電子の配置が変わる (相対論効果)



内側の電子 ⇒ 収縮 (安定)
外側の電子 ⇒ 拡張 (不安定)

化学的性質が周期表の周期律から逸脱する可能性

(身近な例: 金は、金色でさびにくい)

104番元素ラザホージウム (Rf)

261Rf	
生成率	~5 原子/分
半減期	68 秒

単一原子化学
アルファ粒子放出核種は1原子でも検出可能

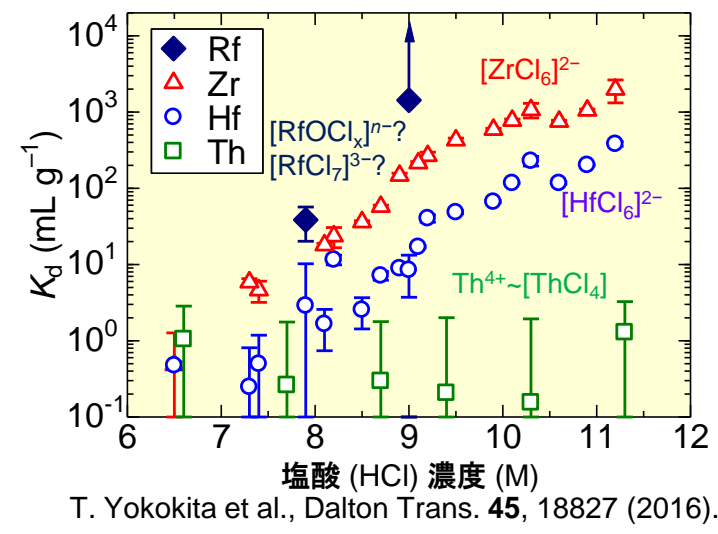
超重元素の化学実験の流れ



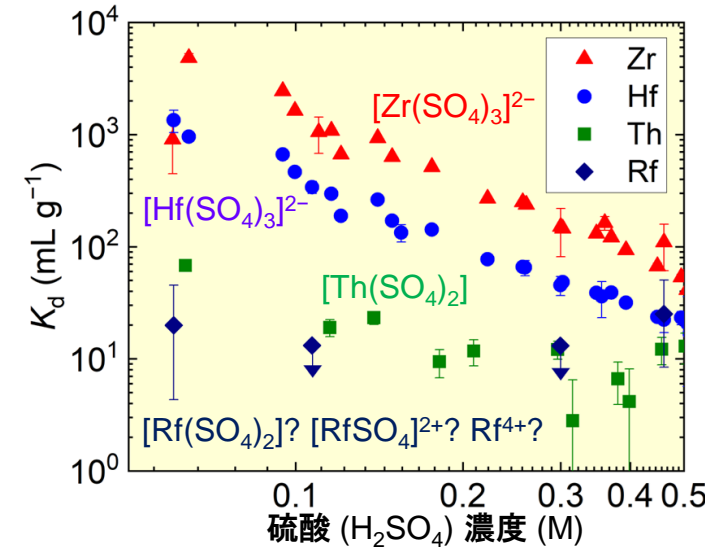
Y. Kasamatsu, et al., Radiochim. Acta 103, 513 (2015).

H. Haba et al., RIKEN Accel. Prog. Rep. 45, 204, (2012).

陰イオン錯体の吸着実験



T. Yokokita et al., Dalton Trans. 45, 18827 (2016).



横北卓也 他, 日本化学会第104春季年会(2024), A1444-2am-14 (2024). T. Yokokita et al., J. Radioanal. Nucl. Chem. 331, 1127 (2022).