

【技術分類】 2－2－2－1 質量分析全般技術／イオン種／同位体比／安定同位体

【技術名称】 2－2－2－1－1 安定同位体比質量分析（IR-MS: Isotope Ratio-MS）

【技術内容】

安定同位体比質量分析（IR-MS: Isotope Ratio-MS）は、水素、炭素、窒素、酸素など軽元素の同位体測定に用いられ、軽元素ガス用質量分析計とも呼ばれる。

イオン源の手前に、試料から測定元素を抽出するための試料処理部分を備えている。試料処理部分では、測定元素が揮発性分子の場合は試料を加熱して、また、測定元素が難揮発性の物質の場合は試料処理部分で試料をF₂、BrF₅、ClF₃等の活性ガス中で加熱し、測定物質を気体分子にして抽出する。測定元素は気体となるため、イオン化には電子イオン化（EI）が用いられる。

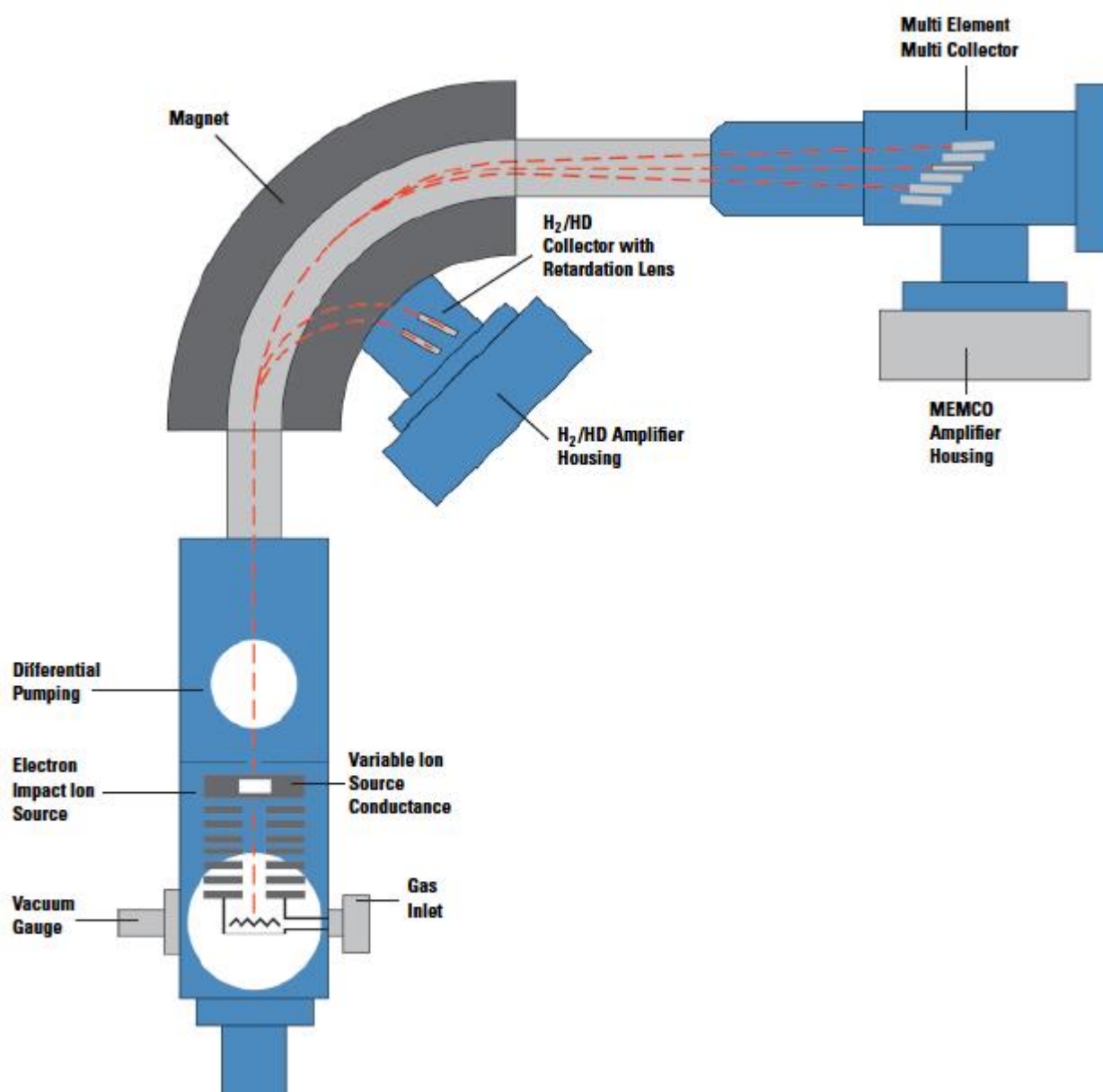
試料処理から分析までの間に測定元素は同位体分別（反応過程に伴い同位体比が変動すること）を受けるため、同位体比の絶対値を決定するのが難しいことから、安定同位体比質量分析では試料中の同位体比を標準物質の同位体比との相対差として求める。試料と標準物質の分析条件を揃えるため、試料導入はデュアルインレット（1－1－3－3－1の項参照）方式が用いられ、交互に測定が行われる。

質量分離部を個々の軌道を書いて通過したイオンは、別々のコレクターにより検出され同位体比が求められる。

【応用分野】

宇宙化学、地球化学試料の同位体測定による物質形成過程などの解明。農産物の同位体測定による産地特定、偽装検査など。

【図】 安定同位体比質量分析装置の概要



出典：「Finnigan™ MAT253」、製品カタログ、サーモエレクトロン株式会社、
http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Various/File_28763.pdf、2006 年 1 月 11 日検索

【出典／参考資料】

- ・ 「入門講座 同位体比を測るための分析法」、ぶんせき、2003 年 4 月号、平田岳史著、社団法人日本分析化学会発行、152-160 頁
- ・ 「Finnigan™ MAT253」、製品カタログ、サーモエレクトロン株式会社、
http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Various/File_28763.pdf

【技術分類】 2-2-2-1 質量分析全般技術／イオン種／同位体比／安定同位体

【技術名称】 2-2-2-1-2 希ガス質量分析

【技術内容】

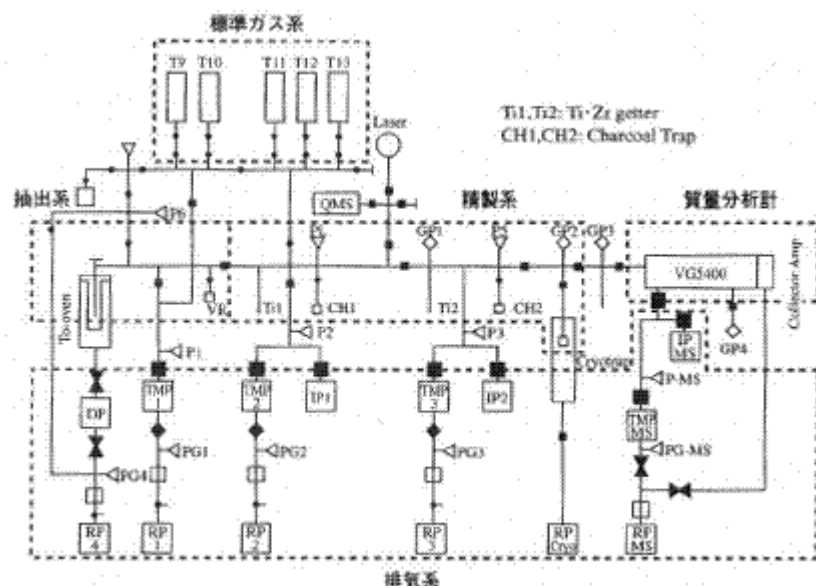
希ガスのうち安定同位体を持つ5元素（ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン）を測定するのに用いられる。一般に、希ガス抽出・精製ラインと質量分析が接続されたシステム全体を希ガス質量分析装置と言う。

存在量が極めて少ない希ガスを測定するため、通常の質量分析装置では真空ポンプで排気しつつ測定する動作動分析（dynamic operation）を行うのに対し、静作動分析（static operation）という方法を用いる。静作動分析では、抽出・精製ラインと質量分析計を排気系から隔離して閉鎖状態を作り希ガスを閉じ込めて分析を行う。この方法では、分析管や検出器に衝突して中性化した元素を繰り返してイオン化することが可能となるため、微量希ガス分析に適している。

【応用分野】

宇宙化学、地球化学試料などの希ガス元素の組成分析、同位体分析。

【図】 希ガス質量分析装置の概略図



出典：「機器分析実験」、2002年3月1日、梅澤喜夫、本水昌二、渡会仁、寺前紀夫編、株式会社東京化学同人発行、120頁 図4・6 希ガス質量分析の概略図

【出典／参考資料】

- ・ 「機器分析実験」、2002年3月1日、梅澤喜夫、本水昌二、渡会仁、寺前紀夫編、株式会社東京化学同人発行、118頁
- ・ 「入門講座 同位体比を測るための前処理法」、ぶんせき、2003年3月号、中井俊一著、社団法人日本分析化学会発行、108-113頁
- ・ 「入門講座 同位体比を測るための分析法」、ぶんせき、2003年4月号、平田岳史著、社団法人日本分析化学会発行、152-160頁

【技術分類】 2-2-2-1 質量分析全般技術／イオン種／同位体比／安定同位体

【技術名称】 2-2-2-1-3 ガスクロマトグラフ燃焼炉質量分析 (GC-C-MS)

【技術内容】

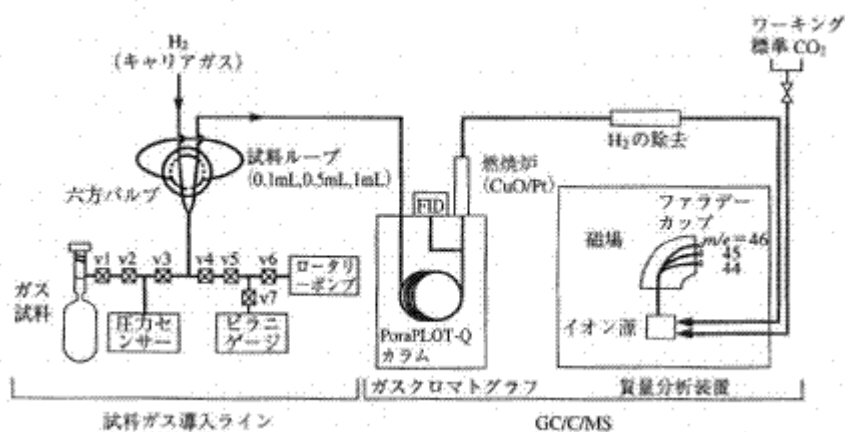
ガスクロマトグラフ燃焼炉質量分析 (GC-C-MS) は、ガスクロマトグラフ同位体質量分析 (GC-IR-MS) と呼ばれ、炭素同位体の測定に用いられる。基本構成は分離装置である GC と磁場型質量分析計から成るが、その間に燃焼炉、還元炉、 H_2O セパレーターなどを介している。

試料導入法はシリンジ注入、サンプルループによる導入などがある。GC で分離された成分はバルブ動作によって測定対象成分のみ燃焼炉に導入され、その他の成分は排出される。燃焼炉では、加熱した酸化銅や酸化ニッケルと触媒である白金の作用により、導入された成分から二酸化炭素 (CO_2) と水 (H_2O) が生じる。導入成分に窒素が含まれる場合、燃焼炉では二酸化炭素と同じ質量数 44 であり分析の妨害成分となる一酸化二窒素 (N_2O) が生じる。これは燃焼炉の次に還元炉を設けることで窒素 (N_2) に変換し除去することができる。燃焼炉で生じた水は H_2O セパレーターにおいて除去され、二酸化炭素のみが質量分析計に導入される。

【応用分野】

大気、天然ガス、火山ガス、土壌ガスなど宇宙化学、地球化学的試料の炭素同位体測定。

【図】 ガスクロマトグラフ燃焼炉質量分析装置の概略図



出典：「機器分析実験」、2002 年 3 月 1 日、梅澤喜夫、本水昌二、渡会仁、寺前紀夫編、株式会社東京化学同人発行、123 頁 図 4・8 炭素同位体比測定のための測定システム

【出典／参考資料】

- ・ 「機器分析実験」、2002 年 3 月 1 日、梅澤喜夫、本水昌二、渡会仁、寺前紀夫編、株式会社東京化学同人発行、122-125 頁
- ・ 「入門講座 同位体比を測るための前処理法」、ぶんせき、2003 年 3 月号、中井俊一著、社団法人日本分析化学会発行、108-113 頁
- ・ 「入門講座 同位体比を測るための分析法」、ぶんせき、2003 年 4 月号、平田岳史著、社団法人日本分析化学会発行、152-160 頁

【技術分類】 2－2－2－2 質量分析全般技術／イオン種／同位体比／放射性同位体

【技術名称】 2－2－2－2－1 加速器質量分析（AMS）

【技術内容】

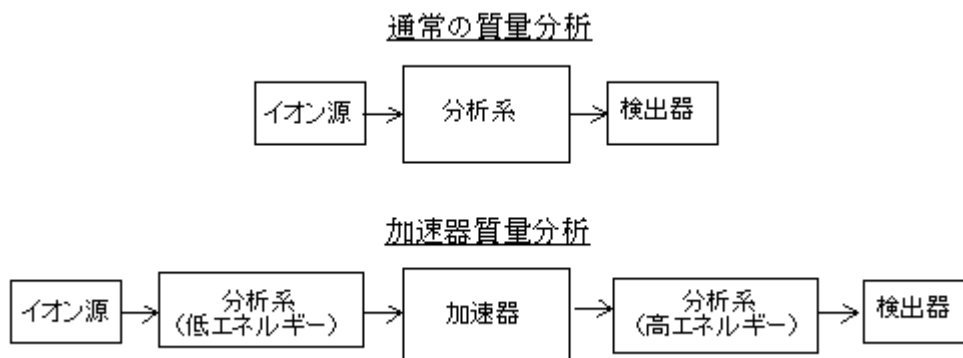
加速器質量分析（AMS）はごく微量の放射性同位体と安定同位体との比（通常 10^{-10} から 10^{-15} といった存在比）を測定する技術である。実用例としては、炭素年代測定のための ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C の測定が有名である。

通常の加速器を伴わない質量分析では、測定対象物と同じ質量数や m/z を持つ同重体イオンを区別することができない。AMS は以下の 3 点によりこれを区別することが可能である。以下に、炭素年代測定において ^{14}C の妨害物質となる同重体の ^{14}N や $^{13}\text{CH}^+$ を例に述べる。

1. ^{14}N の負イオンが ^{14}C に比べて非常に不安定である性質を利用し、負イオンを生成するイオン源をもちいて ^{14}N を排除する。
2. 負イオン源では ^{14}C と同じ質量数の分子イオン（ $^{13}\text{CH}^-$ など）が生成されるが、これらは加速器をタンデムにすることで、その中央部（荷電変換部）で除去可能となる。荷電変換部では負イオンをアルゴンガスと衝突させることにより電子を剥ぎ取り正イオンへと変化させるが、この衝突により分子イオンは原子イオンまで分解されるため除去される。
3. ^{14}C の検出に電離箱型検出器（重イオン検出器）を用いて ^{14}C と ^{14}N を区別している。電離箱型検出器では ^{14}C と ^{14}N が移動中に失うエネルギーの損失率の違いを検出し、両者を区別している。

^{14}C 以外の放射性同位体の測定も基本的に同様の原理により行われている（3－3－2－1－3 の項も参照）。

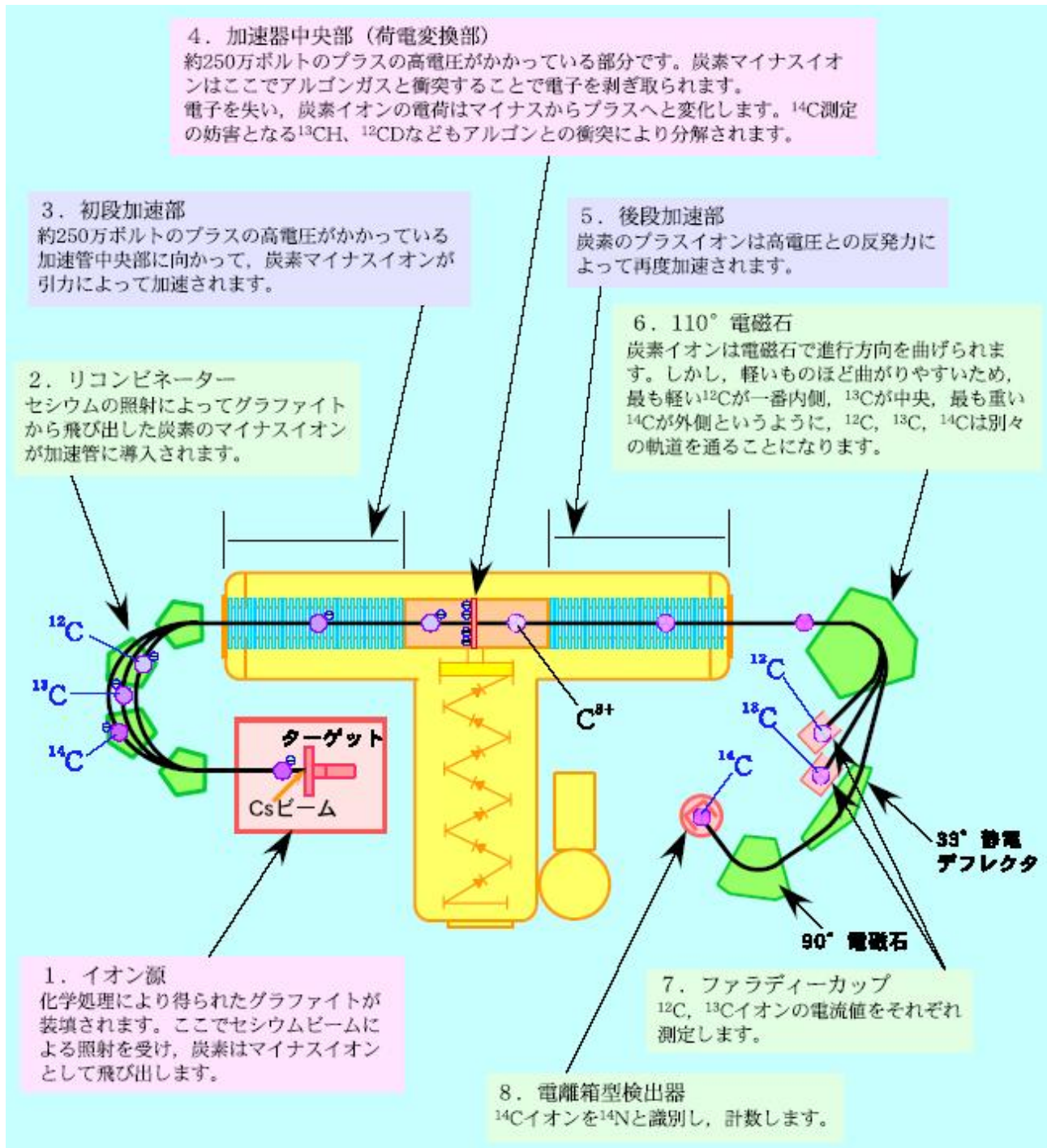
【図】 通常の質量分析と加速器質量分析の比較



出典：「加速器質量分析の原理」、放射線利用技術試験研究データベース、データ番号：040291、松崎浩之、財団法人放射線利用振興協会、2004 年 3 月 25 日、図 1 加速器質量分析と通常の質量分析におけるシステムの構成、

<http://www.rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synopsis/040291.html>、2006 年 1 月 24 日検索

【図】 加速器質量分析の例－ ^{14}C 分析用タンデトロン加速器質量分析計－



出典:「タンデトロン加速器質量分析計」、名古屋大学年代測定総合研究センターパンフレット、9 頁、<http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/doc/tandem1.pdf>、2006 年 2 月 14 日検索

【応用分野】

宇宙化学、地球化学分野の年代測定（炭素 14 年代測定法）。放射性同位体をトレーサーとして用いる医学、薬学、農学などの基礎研究分野（下図も参照）。

【図】 加速器質量分析（AMS）より測定できる主な宇宙線生成放射性同位体測定とその応用研究

放射性同位体	半減期	主な生成機構	応用
^3H	12.26年	$^{14}\text{N}(\text{n},\text{t})^{12}\text{C}$ N,Oの破砕反応	地下水の年齢と流動追跡, トレーサとして医学利用
^7Be	53.3日	N,Oの破砕反応	成層圏-対流圏大気の混合
^{10}Be	1.5×10^6 年	N,Oの破砕反応 岩石表面のSi,Oの 破砕反応	海洋堆積物や氷床の年代測定, 岩石表面照射年代測定, 宇宙線強度変動, 地球磁場強度変動, 太陽活動の変動, 火山帯のマグマの起源
^{14}C	5730年	$^{14}\text{N}(\text{n},\text{p})^{14}\text{C}$	各種試料の年代測定, 隕石の落下年代測定, トレーサとして環境中の炭素循環の解析や 医学利用
^{26}Al	7.1×10^5 年	Fe,Arの破砕反応 Al,Siとの核反応	岩石表面照射年代測定, トレーサとして医学利用
^{32}Si	101-172年	Arの破砕反応	地下水の年齢
^{36}Cl	3.0×10^5 年	$^{35}\text{Cl}(\text{n},\gamma)^{36}\text{Cl}$, $^{39}\text{Ar}(\text{n},\text{p})^{36}\text{Cl}$, Arの破砕反応	隕石の落下年代, 地下水の年齢, 岩石表面照射年代測定, 太陽活動の変動, トレーサとして医学利用
^{41}Ca	1.0×10^5 年	$^{40}\text{Ca}(\text{n},\gamma)^{41}\text{Ca}$	骨などの年代測定, トレーサとして医学利用
^{53}Mn	3.7×10^5 年	Feとの核反応 ($^{56}\text{Fe}(\text{p},\alpha)^{53}\text{Mn}$, etc)	年代測定, 宇宙線強度変動
^{129}I	1.57×10^7 年	$^{136}\text{Xe}(\text{n},\text{p})^{136}\text{I}$, ^{238}U の自発核分裂	年代測定, 火山活動の歴史, 宇宙線強度変動, トレーサとして地下水の流動追跡

出典：「RADIOISOTOPES」Vol.52, No.3, 2003 年、日本アイソトープ協会発行、164 頁、表 4 AMS 法により測定できる主な宇宙線生成放射性同位体測定とその応用研究

【出典／参考資料】

- ・ 「「有機質量分析法」、1995 年 8 月 31 日、Chapman,J.R.著、土屋正彦、田島進、平岡賢三、小林憲正共訳、丸善株式会社発行、220-227 頁
- ・ 「加速器質量分析の原理」、放射線利用技術試験研究データベース、データ番号：040291、松崎浩之、財団法人放射線利用振興協会、2004 年 3 月 25 日、
<http://www.rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synopsis/040291.html>
- ・ 「タンデトロン加速器質量分析計」、名古屋大学年代測定総合研究センターパンフレット、9 頁、
<http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/doc/tandem1.pdf>
- ・ 「RADIOISOTOPES」、Vol.52 No.3 2003 年、日本アイソトープ協会発行、164 頁