

デュアルセルシステム (DCS) と アドバンスドヘリウムモード (AHM)

従来の He-KED よりも高感度で優れた干渉除去を
実現するための技術開発



アジレントのコリジョンリアクションセル (CRC) 技術の進化

- **2001 年**：初の CRC 搭載 ICP-MS、オクタポールリアクションシステム (ORS) 搭載 Agilent 7500c を発表
- **2011 年**：衝突誘起解離 (CID) を使用した高エネルギーヘリウムモード (HEHe) を発表
- **2012 年**：世界初のトリプル四重極 ICP-MS、Agilent 8800 ICP-QQ を発表
- **2016 年**：軸方向加速機能付き、第 2 世代のトリプル四重極 ICP-MS、Agilent 8900 ICP-QQ を発表
- **2026 年**：Agilent 9500 ICP-QQ 用の画期的なデュアルセルシステム (DCS) およびアドバンスドヘリウムモード (AHM) を発表

はじめに

コリジョン/リアクションセル (CRC) 技術は現在、最新の ICP-MS システムで標準の機能となっており、データ品質を損なうスペクトル干渉を除去するための確実な手段です。一体型の CRC を備えた ICP-MS には、環境および食品分析で使用されるシングル四重極 (SQ) ICP-MS から、先端研究アプリケーションのためのトリプル四重極 ICP-MS (ICP-QQQ) まであります。ルーチンアプリケーションの場合、一般にヘリウムモード (He モード) と呼ばれる、ヘリウム運動エネルギー弁別 (He KED) モードが、最も広く使用されている CRC 動作モードとなっています。He モードが広く使用されている理由は、それぞれの元素に合わせて最適化する必要がなく、広範囲な多原子の干渉を低減するのに全般的に有効であるからです。

反応性のセルガスに依存し、複雑なチューニングが必要な CRC とは異なり (一般的にリアクションセルと呼ばれる)、He モードでは、繊細な調整は必要なく、頻発する多数の多原子イオン干渉を効果的に軽減します。対して、リアクションセルでは多くの場合、対象分析物に対する特定の干渉イオンに基づいて、ガスの種類 (アンモニアや酸素など) やチューニングパラメータを慎重に選択する必要があります。

アジレントはシンプルな He モードを基に、Agilent 9500 トリプル四重極 ICP-MS (ICP-QQQ) のためにアドバンストヘリウムモード (AHM) を開発しました。アジレントの新設計デュアルセルシステム (DCS) と高速セル電圧制御によって実現された AHM は、干渉除去技術における躍進を示すものです。これらの革新的技術は、ルーチンのアプリケーションを対象に、質量範囲全体で高い感度と、優れた干渉除去性能を実現します。従来の He モードと比較し、AHM では次のメリットが実証されています。

- ベリリウム (Be) とボロン (B) などの低質量元素に対して約 20 倍高い感度
- 中および高質量元素に対して約 2 倍高い感度
- 検出下限 (DL) を維持しつつ、データ取り込み時間を 33 % 以上短縮し、分析測定時間を加速

AHM は従来の He KED を代替するだけでなく、ノーガス、He、HEHe など、複数のチューニングモードを、単一の効率的なモードへと集約します。9500 ICP-QQQ に搭載された AHM は、先行モデルよりも高性能で、高速かつシンプルな次世代の標準 He モードです。

このテクニカルノートでは、DCS および AHM の性能向上のメカニズムについて説明します。また、従来の He KED モードとの比較結果が含まれており、AHM による分析上の利点も明らかにします。

DCS 設計の特長と干渉除去性能

DCS は、9500 ICP-QQQ に組み込まれた独自の CRC で、2 つの四重極 (Q1 および Q2) の間に挟まれています。図 1 に DCS の構成を示します。単一の多重極イオンガイドを使用した従来の CRC とは異なり、DCS は 2 つのイオンガイド (Q1 の近くのフロントセル、および Q2 の近くのリアセル) を備えています。2 つのイオンガイドはそれぞれ、フロントセルバイアス電圧およびリアセルバイアス電圧と呼ばれる、バイアス電圧を使用して個別に制御されます。これらの電圧は、DCS を通じてイオンを移動させるために使用されます。

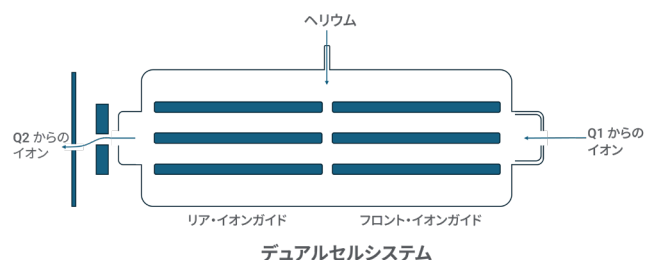


図 1. ヘリウムセルガスを使用して加圧した Agilent デュアルセルシステム (DCS) の概略図。セルの KED 電圧は、フロントイオンガイドとリアイオンガイドに異なるバイアス電圧を印加することにより、精密に制御されます。DCS の画期的な設計により、運動エネルギー弁別 (KED) と衝突誘起解離 (CID) のメカニズムの組み合わせを通じて、アドバンストヘリウムモード (AHM) で最適な干渉除去性能が実現されます。

標準的な動作条件の下、He ガス流量は 14 mL/min に、フロントセルバイアス電圧は -98 V、リアセルバイアス電圧は -88 V に設定します。2 つのセル間の電圧の差 (10 V) が KED 電圧として機能します。このような設定において、DCS は、KED と衝突誘起解離 (CID) のメカニズムの組み合わせにより、効果的に干渉イオンを抑制することができます。DCS の「デュアル」という用語は、デュアルイオンガイドおよびデュアル干渉除去メカニズムの両方を示しています。

ピーク分離能を表す指標として、強いピークが隣接する質量数のピークにおよぼす影響を示すアバンドランス感度 (AS) が用いられます。多重極イオンガイドを使用する HEHe モードでは、高エネルギーイオンが存在する場合に AS の性能は低下する傾向があり、特定の元素に対して使用が限定されます。反対に DCS は、リアイオンガイド内での衝突を通じて高エネルギーイオンを熱運動化することにより、ノーガスモードと同様の AS 性能を達成できます。また、フロントセルバイアス電圧を非常に低い値 (-90 V など) に設定すると CID の効果が向上し、14 mL/min の He 流量で KED は動作し続けます。このような DCS の特性により、従来の He KED モードよりも高い感度と優れた干渉除去が得られます。

He KED 性能強化と DCS 設計の説明

He KED は、ルーチンの ICP-MS 分析において最も広く使用されているセルモードの 1 つです。He 原子と、分析対象イオン/干渉イオンとの間の衝突断面積の差異を利用することにより、多原子イオン干渉を低減します。多原子イオンは分析対象イオンよりも大きな断面積を持っているため、セル内で He とより多く衝突し、より多くの運動エネルギー (KE) を失います。KE 電圧または KED として知られる電圧バリアは、セルと Q2 との間で印加されます。このバリアが低エネルギーの干渉イオンを抑制する一方、高エネルギーの分析対象イオンが Q2 と検出器を通過できるようにします。

He KED モードでは、イオンと He ガス原子との間の衝突回数を増やすことによって性能を強化できます。これは、He 流量を増加させることによって可能です。この場合、「性能」とは、分析対象イオンと干渉イオンとの間の S/N 比、およびターゲット成分の信号強度 (感度) の両方を指します。

図 2 に、8900 ICP-QQQ に取り付けられた He コリジョンセルのシミュレーション結果を示します。バナジウム (V^+) 分析対象イオンと酸化塩素 (ClO^+) 干渉イオンのセル出口での KE 分布が表されています。He との衝突により、 V^+ イオンは KE を失い、エネルギー分布が広がります。He 流量が増えるにつれ、衝突回数が増加し、KE 分布が狭くなります。 V^+ よりも衝突断面積が大きい ClO^+ イオンはより多くの衝突を経るため、より多くの KE を失い、 V^+ からさらに明確に分離されます。

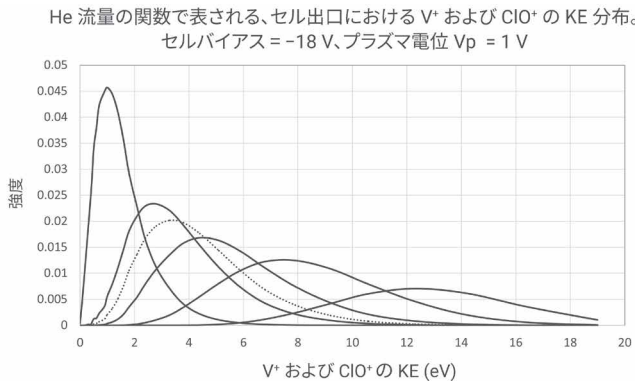


図 2. セル出口における V^+ および ClO^+ の計算された運動エネルギー (KE) 分布。実線は、2、4、6、8、12 mL/min の He 流量におけるセル出口での V^+ イオンの KE 分布を表しています。点線は、4 mL/min の He 流量における ClO^+ イオンの KE 分布を表しています。4 mL/min の同じ He 流量における両方のイオンを比較した場合、 ClO^+ イオンはより大きな衝突断面積を持っているため、 V^+ イオンよりも低い KE 分布を示します。

セル出口で適切な KED 電圧をかけることで、 V^+/ClO^+ 比を向上させることができます。ただし、一部の V^+ イオンも失われるため、感度が低下します。図 3 に、図 2 のシミュレーションで使用された異なる He 流量と KED 電圧に対し、 ClO^+/V^+ に基づき計算された感度とバックグラウンド相当濃度 (BEC) を示します。KED 電圧が高くなるにつれ、感度よりも早くバックグラウンドが低下し、BEC が向上します。

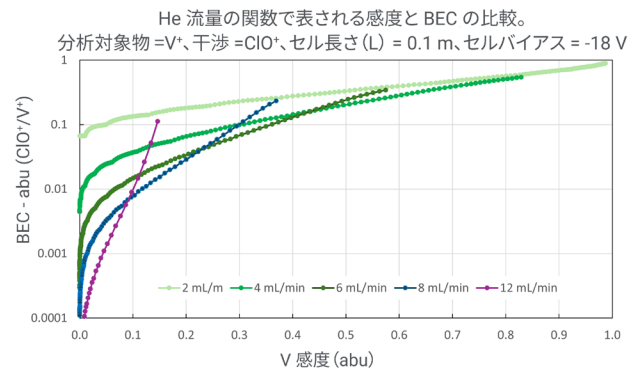


図 3.異なる He 流量における、計算されたバナジウム (V) の感度と ClO マトリックス中の BEC の対比。各 He 流量で、ClO マトリックス中の V の感度 (X 軸) と V の BEC (Y 軸) を媒体変数として KED を使用して計算しました。感度と BEC の値は、He 流量 = 0 mL/min および KED = 0 V のベースライン条件に対して正規化し、相対値として表しています。

シミュレーションからの考察：KED 電圧と感度の間のトレードオフ

シミュレーション結果から、KED 電圧が高くなるほど BEC が増加し、感度が低下することが明らかです。また He 流量が高いほど感度と BEC は両方とも上昇しますが、約 6 mL/min 辺りで変化は水平状態になります。このような限界は、高流量での過度なイオンの熱化により KED の効果が低下するために生じます。

高い He 流量において効果的な KED 性能を維持するために、イオンのセル進入エネルギーを高めることが重要です。これは、イオンガイドのバイアス電圧を下げることで可能です。

高い感度と効果的な干渉除去を確保するために、DCS はこのような原理に基づいて設計されています。He 以外のセルガス (O_2 や NH_3 など) を使用している場合、同じバイアス電圧をフロントイオンガイドとリアイオンガイドの両方に印加します。それにより、従来の単一イオンガイドと同じようにシステムを動作させることができます。

AHM 利点の概要

一般的に、多元素 ICP-MS メソッドでは、従来の He KED モードでは感度が低いため、Be や B などの低質量元素を測定するためにノーガスモードを適用します。したがって、多数のルーチン ICP-MS アプリケーションでは、ノーガス、He、HEHe を組み合わせる、複数のチューニング設定が必要でした。各モードスイッチでは、セル圧力の安定性の要件により、遅延が生じます。

実際には、低質量元素 ($m/z < 23$) は通常、多原子イオン干渉の影響を受けないため、多くの場合に KED は不要です。したがって、AHM では、低質量元素に対して異なる電圧を DCS に印加し (効果的に KED を無効化)、 $m/z \geq 23$ 元素に対しては標準の設定を維持します。

高速電圧制御回路を使用し、Q2 に合わせて DCS 電圧は動的に切り替わり、低質量元素に対して従来の He モードよりも 20 倍以上の感度向上を実現します。AHM ではノーガスモードでの操作が必要ないため、メソッドが大幅に容易化されます。デフォルトのアプローチとして、多くのアプリケーションに対して AHM のみを使用するのが適切です¹。

従来の He モードと比較した AHM の性能

AHM で動作する DCS 搭載 9500 ICP-QQQ の性能を評価するために、ルーチンまたは困難なアプリケーションをシミュレートするよう、広範囲なサンプルを調製しました。次に、結果を、従来の He KED モードを使用して取得した結果と比較しました。

低質量元素

AHM は、He モードと比較し、低質量成分 ($m/z < 23$) に対して約 20 倍感度が高いことを、図 4 に示します。Be に対しては、AHM の感度はノーガスモードの約 3 分の 1 です。

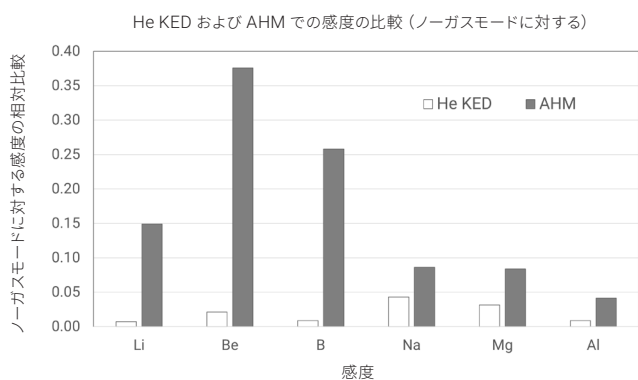


図 4. ノーガスモードと比較した、AHM および He モードの Agilent 9500 ICP-QQQ の感度の比較

炭素含有量の多いマトリックス

図 5 に示すように、ノーガス、He、AHM モードを使用して、15% イソプロピルアルコール (IPA) 中の Mg、Al、Cr を測定しました。 $^{24}\text{Mg}^+$ に対する C_2^+ 、 $^{27}\text{Al}^+$ に対する C_2H_3^+ 、 $^{57}\text{Cr}^+$ に対する ArC^+ などの干渉がありました。AHM は、He モードの約 2 倍高い感度 (cps/ppb) と、低い BEC (ppb) を示しました。

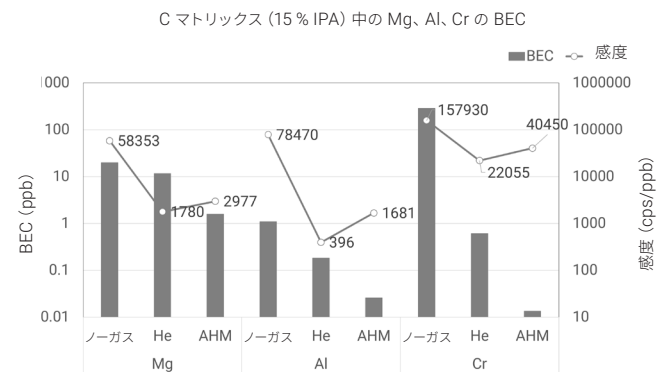


図 5. 15% IPA 中の Mg、Al、Cr に対する感度と BEC の比較

塩素およびカルシウムマトリックス

困難なアプリケーションをシミュレートするために、ブランク、2% HCl、100 ppm Ca をスパイクした 2% HCl 中の V、As、Se を測定しました。 $^{51}\text{V}^+$ に対する ClO^+ 、 $^{75}\text{As}^+$ に対する ArCl^+ 、 $^{78}\text{Se}^+$ に対する ArClH^+ / CaClH^+ などの干渉がありました。図 6 に示すように、AHM では、He モードよりも高い感度 (cps/ppb) と低い BEC (ppb) が得られました。特に、AHM でブランク中の Se BEC は 1 桁の ppt レベルでした。

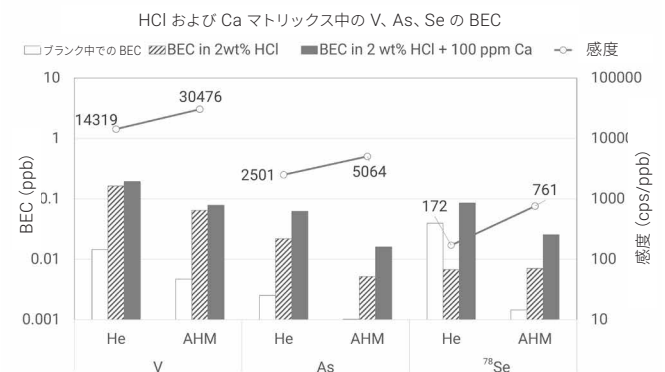


図 6. He モードおよび AHM による Cl と Ca の干渉除去の比較

バリウムマトリックス中のユーロピウム (Eu)

20 ppm バリウム (Ba) マトリックス中で、2つの Eu 同位体 (^{151}Eu と ^{153}Eu) は BaO^+ 干渉の影響を受けます。図 7 に示すように、Eu の測定において AHM は He モードより 2 倍高い感度と低い BEC を実現し、9500 ICP-QQQ メソッドの効果が実証されました。

参考資料

1. Siva, S. ディスクリットサンプリングと自動希釈を組み合わせた ICP-QQQ による食品の自動分析, Agilent publication, [5994-9095JAJP](#)

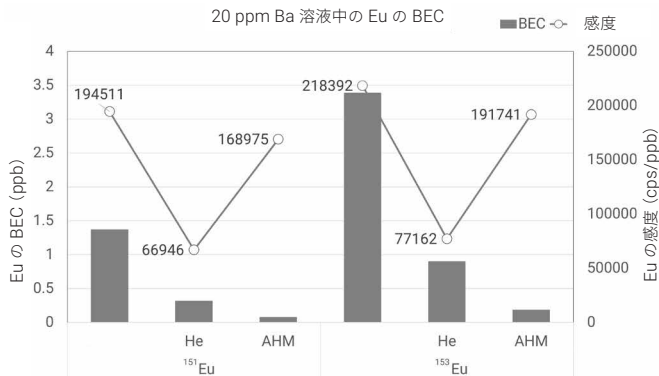


図 7. 20 ppm Ba 中の Eu に対する感度と BEC の比較。ノーガス、He、AHM モードを使用して ^{151}Eu と ^{153}Eu を測定しました。

結論：干渉除去と感度の新たな基準

Agilent 9500 ICP-QQQ では、ICP-MS 性能の大幅な進化を示す、デュアルセルシステム (DCS) やアドバンスドヘリウムモード (AHM) という 2 つの革新技术が採用されています。

イオンの挙動と衝突の力学に対する理解により開発された DCS は、幅広い質量範囲で並外れた干渉除去性能と高い感度を実現します。DCS のデュアルイオンガイド設計とデュアルメカニズム手法 (KED + CID) により、従来の高エネルギー HEHe および He KED モードの限界を克服しており、幅広いアプリケーションと優れたアバundance感度を実現します。

AHM は、低質量元素にも、高質量元素に対してもリアルタイムでセル条件を高度に最適化することにより、He ベースの干渉除去を一変させます。低質量元素に対しては最大で感度を 20 倍向上させ、マルチチューンの切り替えが不要な AHM は、ワークフローを効率化し、分析時間を短縮し、データ品質を向上させます。

DCS と AHM の組み合わせは、ICP-MS における性能、効率、使いやすさの新たな基準を打ち立てます。これらの革新技术により正確で信頼性に優れた結果をより迅速に取得できるため、9500 ICP-QQQ は次世代の分析性能を求めているラボに最適なソリューションとなっています。

www.agilent.com/chem/9500icpqqq

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンター

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、
医薬品医療機器等法に基づく登録を行っていません。
本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに
変更されることがあります。

DE-012982

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc. 2026
Printed in Japan, June 01, 2026
5994-8985JAJP