

LC/MSの基礎と実践

日本電子(株)開発本部

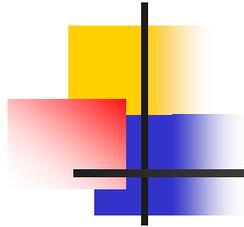
高橋 豊

CERIクロマトセミナー2009



目次

- **LC/MSの基礎**
- **イオン源の種類と原理**
- **質量分離部（分析計）の種類と原理**
- **LC/MSにおける定性分析**
- **LC/MSにおける定量分析**
- **分析上の注意点、ノウハウ**



LC / MSの基礎

LC/MSとは

- 液体クロマトグラフィーと質量分析法を接続した機器分析法
- *Liquid Chromatography – Mass Spectrometry*の略語
- 分析手法を表す略語
- 装置を表す略語はLC-MSを推奨

液体クロマトグラフ → 質量分析計 (TOF)

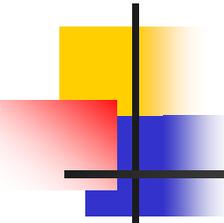


日本電子製 AccuTOF



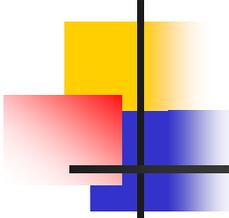
類似用語と意味

- **Liquid Chromatography
(Mass Spectrometry)** **方法、 学問**
- **Liquid Chromatograph
(Mass Spectrometer)** **装置**
- **Liquid Chromatogram
(Mass Spectrum)** **チャート**
- **Liquid Chromatographer
(Mass Spectrometrists)** **人**



LC/MSで何ができるか？

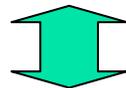
- **LCによる混合物の分離 + MSによる検出**
 - LC分離: **不揮発性、熱不安定性**、高分子物質が対象
 - MS検出
 - 定性目的: マススペクトルによる物質同定、MS/MS測定による構造推定 ⇔ MSの高選択性
 - 定量目的: 選択イオン検出法 (SIM)、選択反応検出法 (SRM or MRM) ⇔ MSの高感度、高選択性
- **GC (GC/MS)**
 - GC分離: **揮発性、熱安定性**物質が対象
 - MS検出: ライブラリーサーチによる同定、SIM, SRMを用いた定量分析



LC/MSでできないこと

- イオン化しない物質の分析
- イオン化し難い物質の高感度分析
(イオン化し易くする方法はある(誘導体化やイオン化助剤の添加など))

MSIは高感度な分析装置



UVよりもレスポンスの低い物質は沢山ある

LC/MSの応用範囲

1. 天然物化学／有機合成化学

- ・分子量の確認、構造解析

2. 生化学／医学／薬学／法医学など

- ・生体高分子（タンパク質、核酸、糖、糖脂質など）の分析
- ・イムノアッセイ
- ・臨床診断の一助（先天性代謝異常など）
- ・ドーピングテスト
- ・薬物動態

3. 環境分析

- ・農薬、環境ホルモン様物質などの定量、モニタリング

4. 製品管理

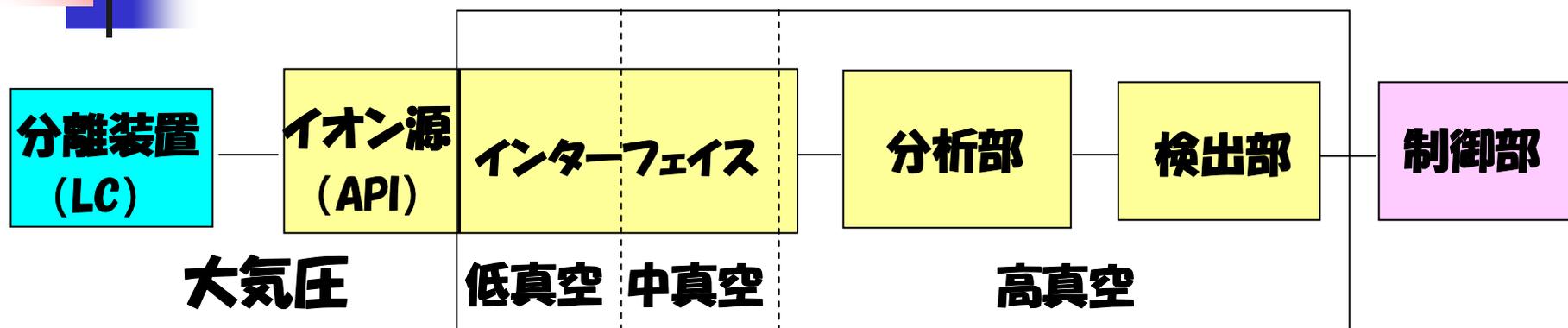
- ・不純物分析など

5. その他

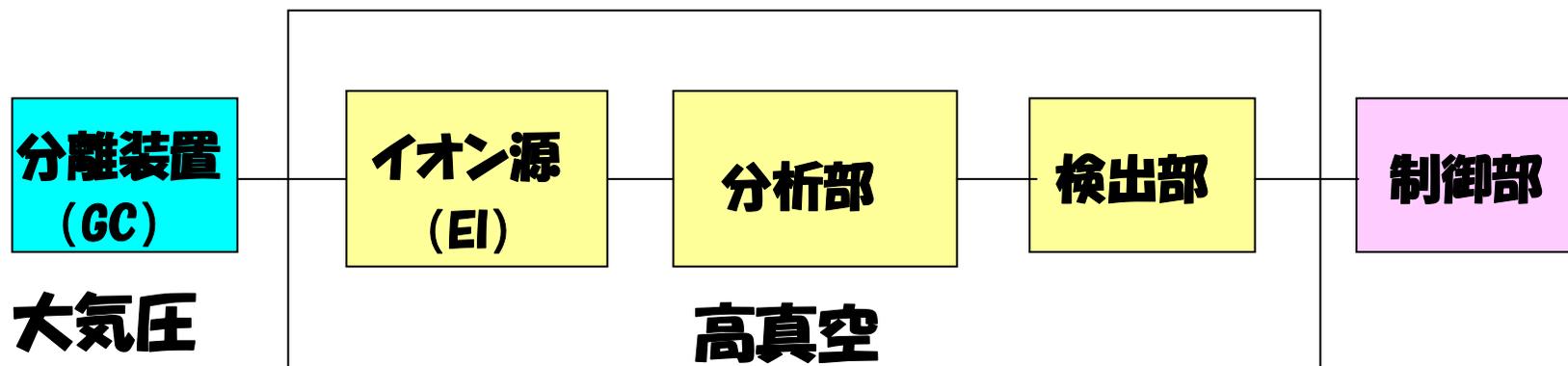
合成高分子化学（添加剤）、材料分析、石油化学...

...など

MS装置の構成

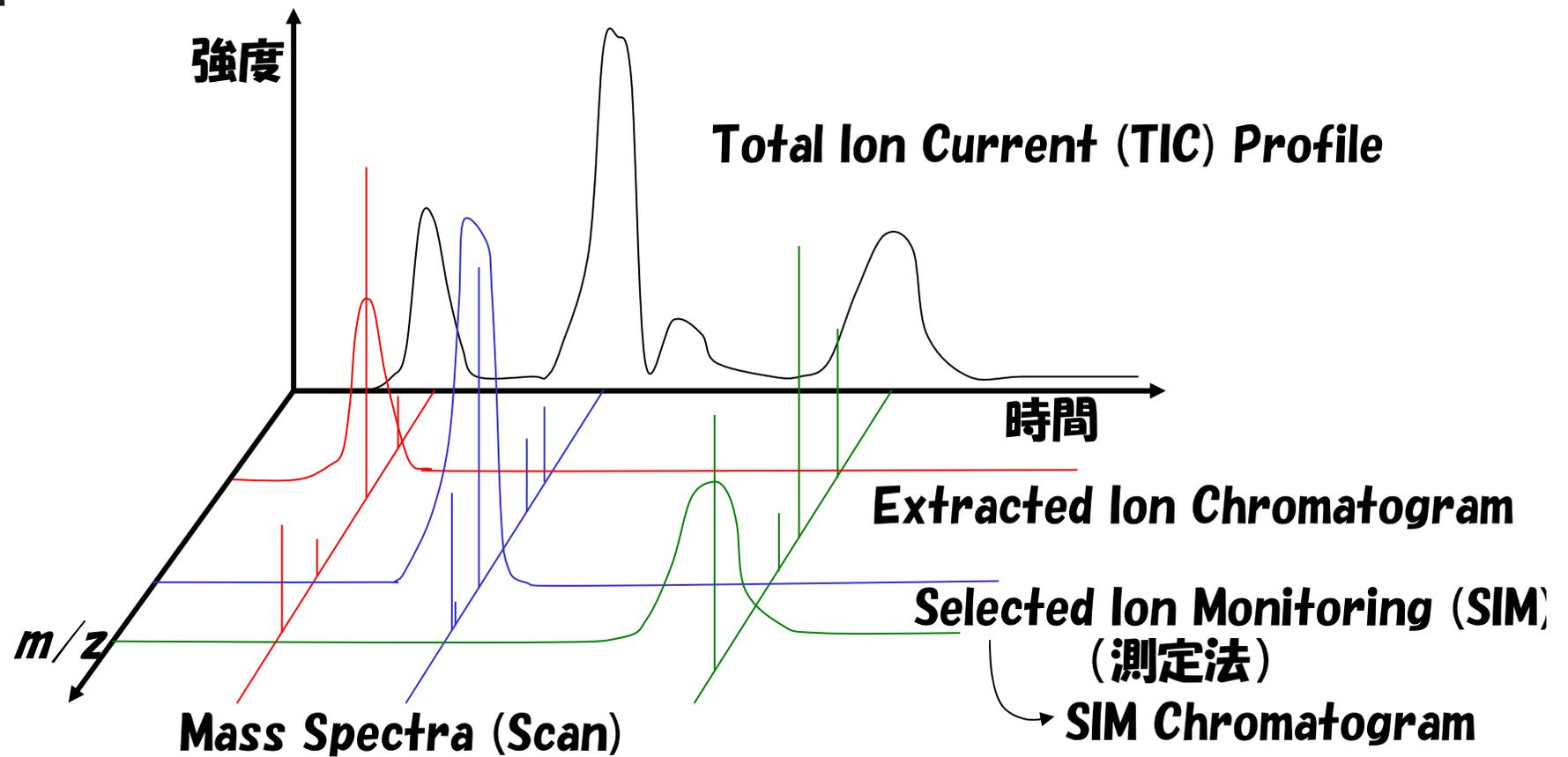


LC-MSの構成

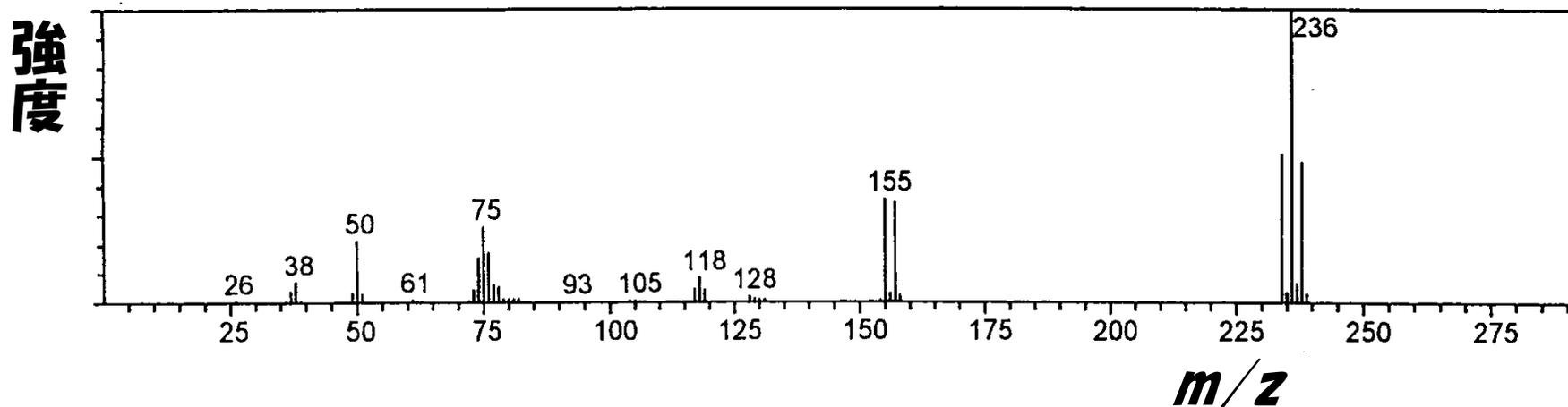


GC-MSの構成

LC/MSで得られるデータ



マススペクトル

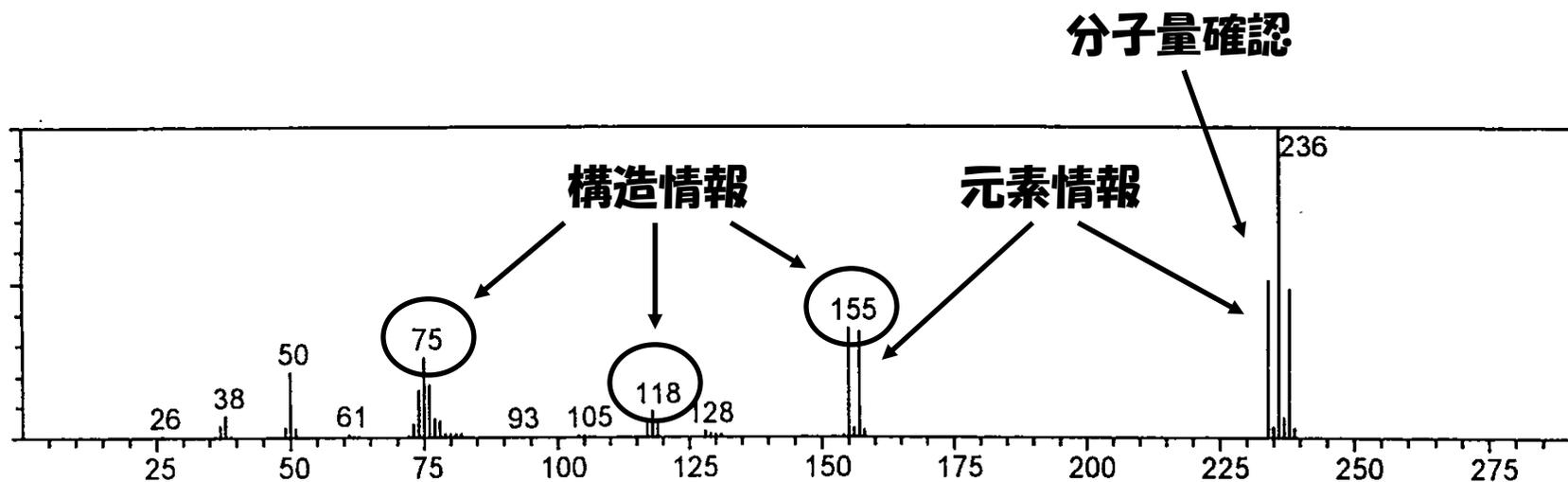


m: イオンの質量、z: イオンの電荷数

zが1の時 $\Rightarrow m/z$ 値 = 質量 (電子の質量を無視した場合)

マスペクトルから何がわかる？

- ・分子量関連イオンのピークからの分子の質量 (分子量確認)
- ・フラグメントイオンのピークから分子の構造 (構造情報)
- ・同位体イオンピークの高さから構成元素の種類と数 (元素情報)
精密質量からイオン組成式



注) LC/MSでは、通常フラグメントイオンは観測されない

イオンの種類

→ 最近では推奨されない用語

分子量関連イオン: 試料化合物の分子量情報に直接役立つイオン

分子イオン

試料分子から電子を取り去るか電子を付加することによって生成するイオンのこと。
 M^+ または M^- のように不対電子を持っている。

イオンの質量 = 分子量 (電子の質量を無視すれば)

プロトン化分子

試料分子にプロトンが付加して生成するイオンのこと。 $[M+H]^+$ のように表示する。

イオンの質量 = 分子量 + 1

脱プロトン化分子

試料分子にプロトンが失われて生成するイオンのこと。 $[M-H]^+$ あるいは $[M-H]^-$ のように表示する。

イオンの質量 = 分子量 - 1

フラグメントイオン: 分子量関連イオンが結合の開裂を起こして生成した分子量より質量の小さいイオンのこと。

ノミナル質量と精密質量

原子に対して使う用語

ノミナル質量(Nominal mass) ↔ 質量数 ×

各元素について、天然存在比が最大の同位体の質量に最も近い整数値を用いて計算した質量 = 原子では質量数と同じ値

(例) $^{12}\text{C}=12$, $^1\text{H}=1$, $^{16}\text{O}=16$, $^{14}\text{N}=14$, $^{35}\text{Cl}=35$ など

精密質量(Exact mass)

炭素同位体 ^{12}C の質量を基準値として 12.000000u(or Da) とし、単一同位体で構成された分子やイオンの質量を、ミリダルトン以下まで計算した質量。

(例) $^1\text{H}=1.007825$, $^{16}\text{O}=15.994917$, $^{14}\text{N}=14.003074$, $^{35}\text{Cl}=34.968853$ など

||

モノアイソトピック質量(Monoisotopic mass)

原子・分子の質量 と 原子量・分子量

質量分析で測定される質量は個々の原子あるいは分子などの質量であり、原子の天然同位体存在比を考慮した原子量や分子量とは異なる。

原子量： 相対原子質量(Relative atomic mass)ともいう。

炭素原子 ^{12}C の質量の $1/12$ に対する、ある元素の一原子あたりの平均質量の比で表される無次元量。ある元素の原子量は、その元素の同位体の質量に、質量分析装置によって計測される各同位体の存在比を重率として掛けて求めた平均値。

(例) $\text{C} = 12.011, \text{H} = 1.008, \text{O} = 15.999, \text{N} = 14.007$ など

分子量： 相対分子質量(Relative molecular mass)ともいう。

炭素原子 ^{12}C の質量の $1/12$ に対する、ある化合物の一分子あたりの平均質量の比で表される無次元量。ある分子の分子量は、その分子を構成する総ての元素の相対原子質量(原子量)の和に等しい。

相対分子質量・ノミナル質量・精密質量

($^{12}\text{C}=12.011$)

($^{12}\text{C}=12$)

($^{12}\text{C}=12.000000$)

相対分子質量

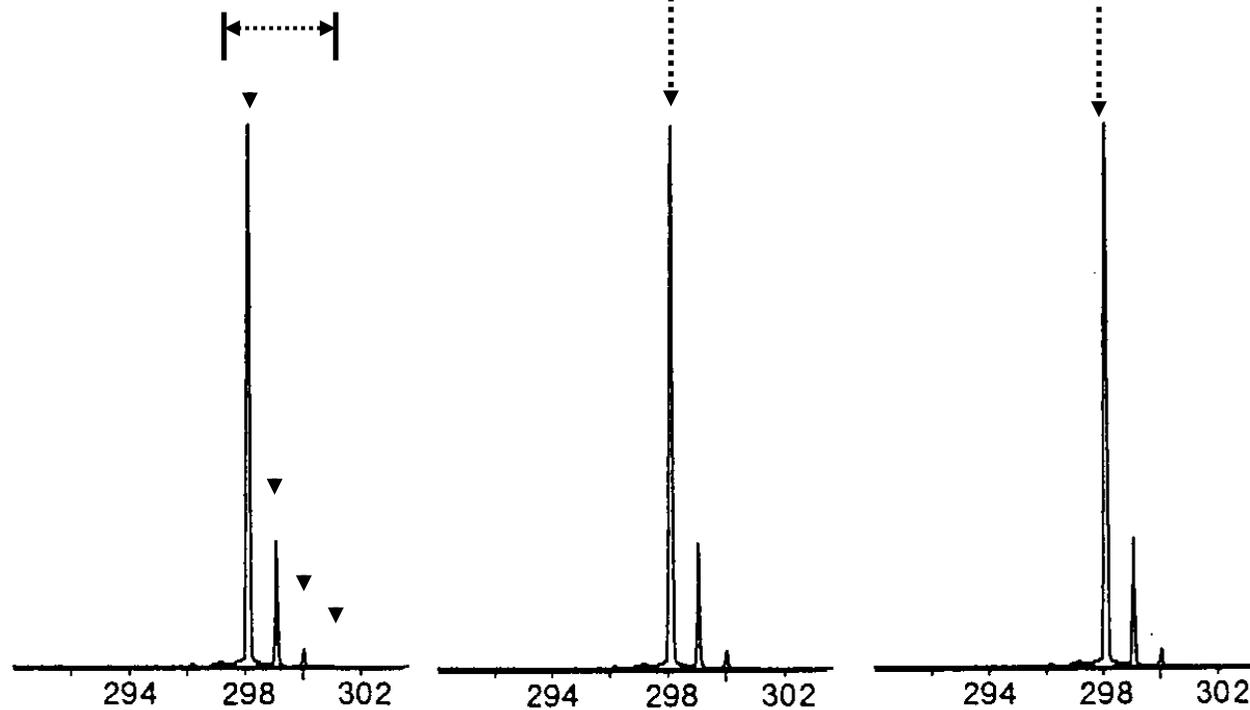
ノミナル質量

精密質量

298.5042

298

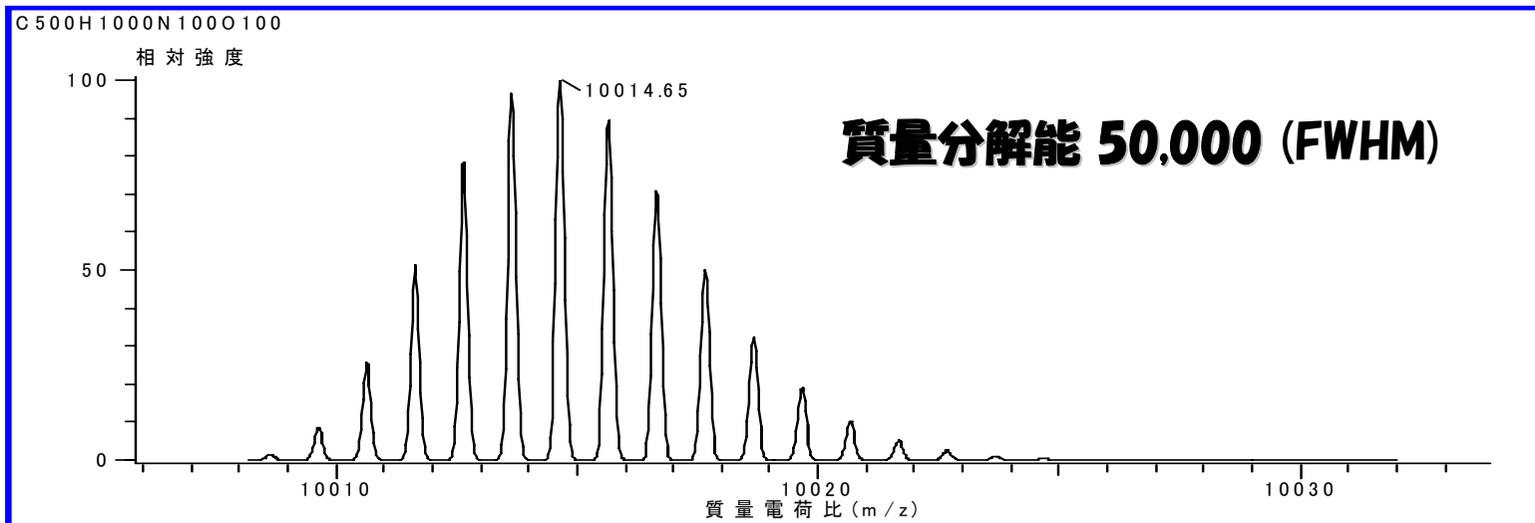
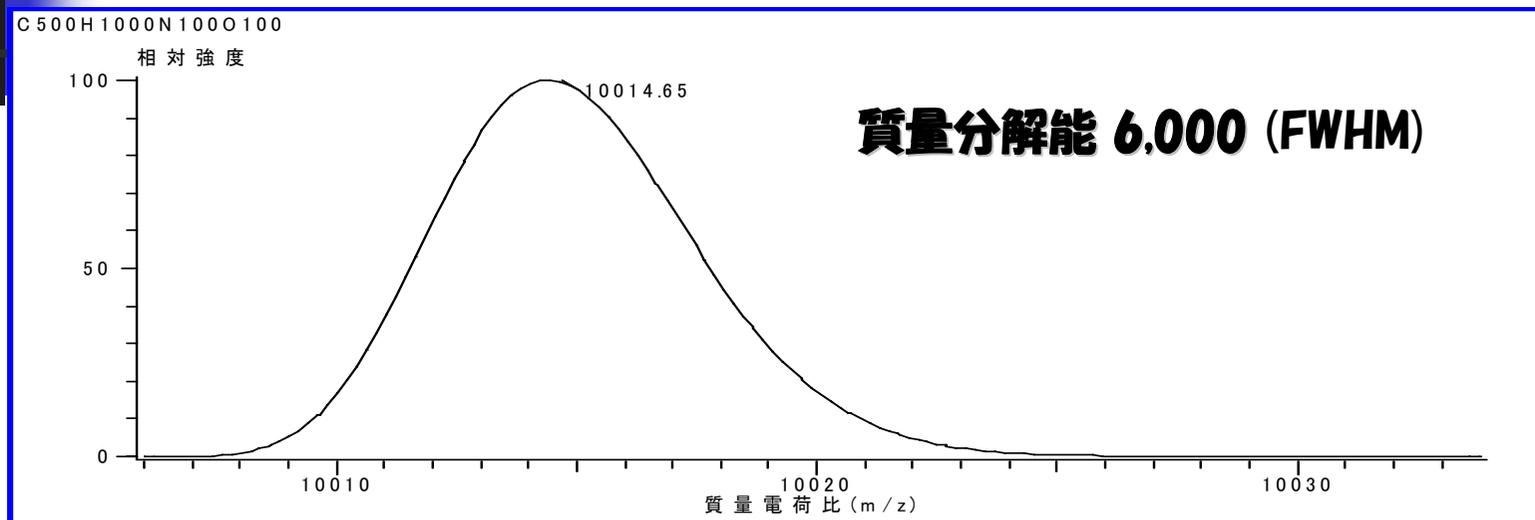
298.2862



ステアリン酸メチルの分子イオン

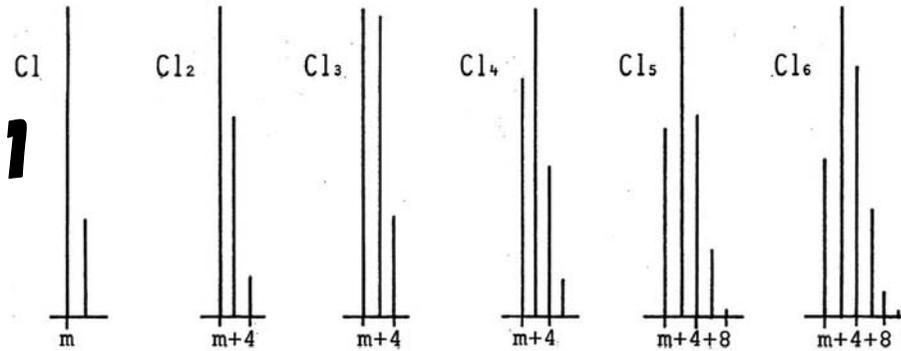
質量分解能と分子質量・相対分子質量

分子量約10,000の物質を質量分解能6,000と50,000のMS装置で分析したら...

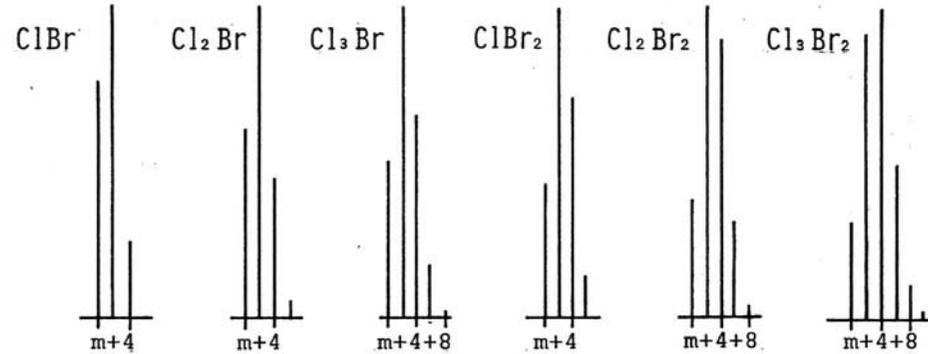


塩素Clのみ

$$^{35}\text{Cl} / ^{37}\text{Cl} = 3 / 1$$

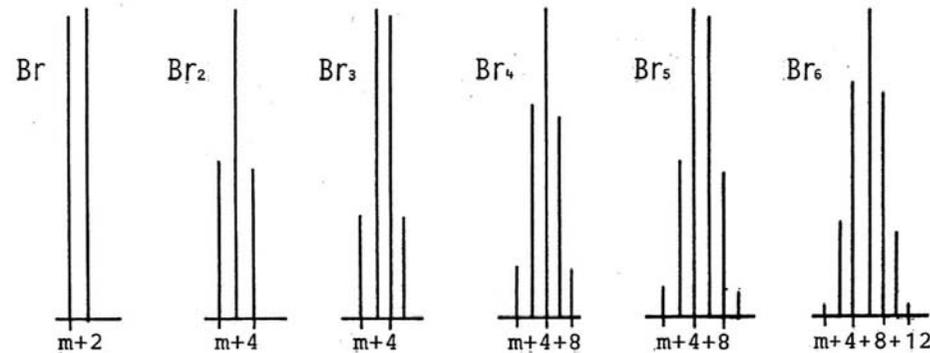


塩素Clと臭素Br の組み合わせ



臭素Brのみ

$$^{79}\text{Br} / ^{81}\text{Br} = 1 / 1$$



塩素Clと臭素Brの同位体パターン

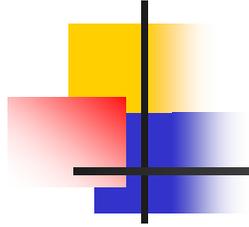
窒素ルール

- 窒素原子を奇数個含む化合物の整数質量は奇数になる。
- 窒素を含まないか、もしくは偶数個含む化合物の整数質量は偶数になる。

ただし、次の2つの条件が満たされていなければならない。

- 分子量関連イオンは正の主分子イオン M^+ または負の主分子イオン M^- でなければならない。
プロトン付加分子イオン $[M+H]^+$ あるいはプロトン脱離イオン $[M-H]^-$ などの場合は整数質量の偶奇性が逆転する。
- 分子イオンの質量は整数で表示されていなければならない。





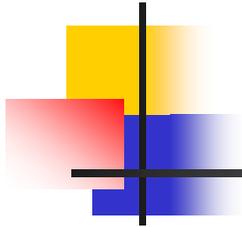
イオン源の種類と原理

LC-MSインターフェイス (イオン源)の種類

役割：試料のイオン化

- **エレクトロスプレー (ESI)**
 - **大気圧化学イオン化 (APCI)**
 - **大気圧光イオン化 (APPI)**
 - **サーモスプレー (TSP)**
 - **パーティクルビーム (PB)**
 - **フローFAB**
- 大気圧
イオン化
- 真空中
イオン化

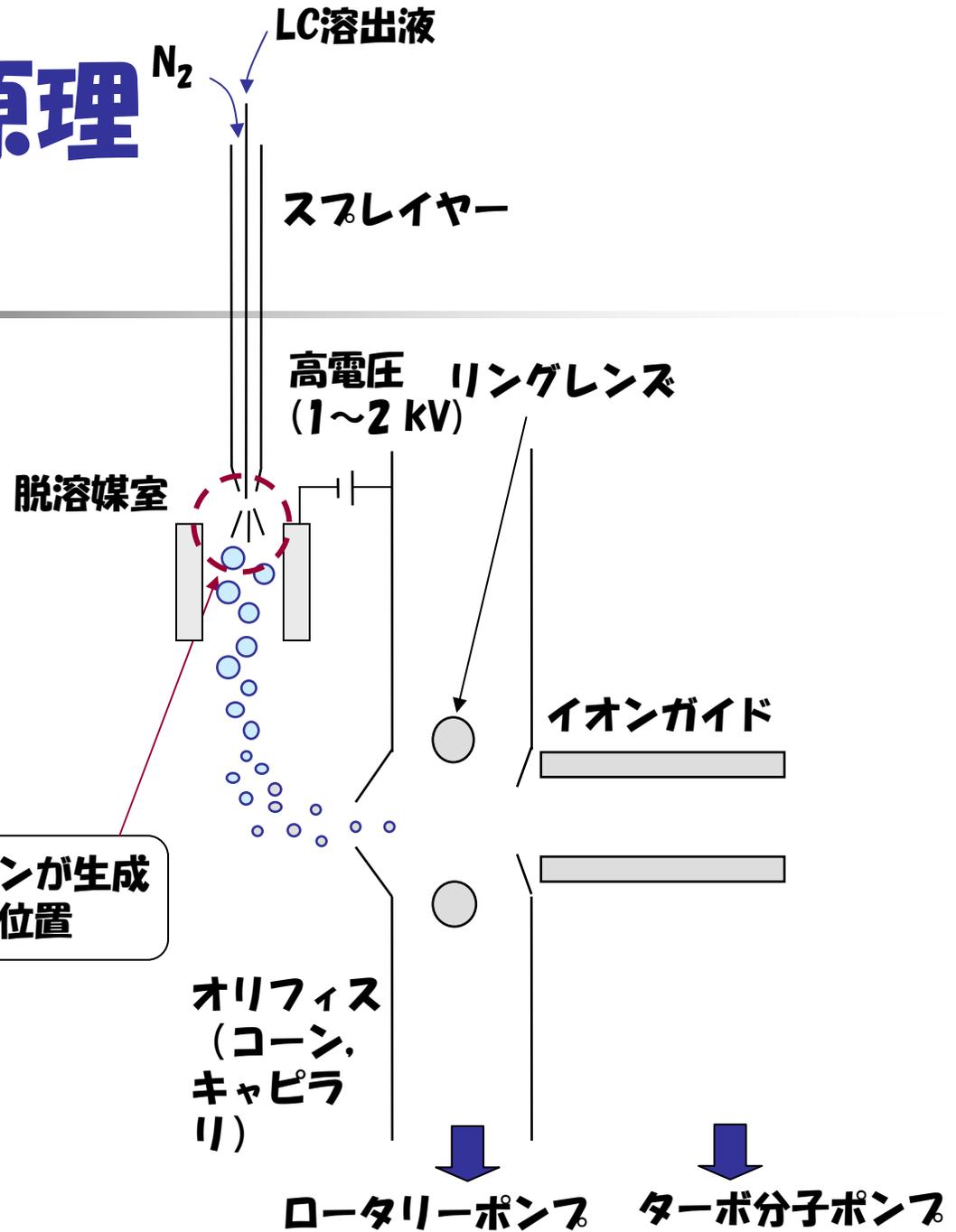
ESIの構造と原理



高電界による静電噴霧 →
帯電液滴の生成 → 加熱・
脱溶媒 → イオン蒸発

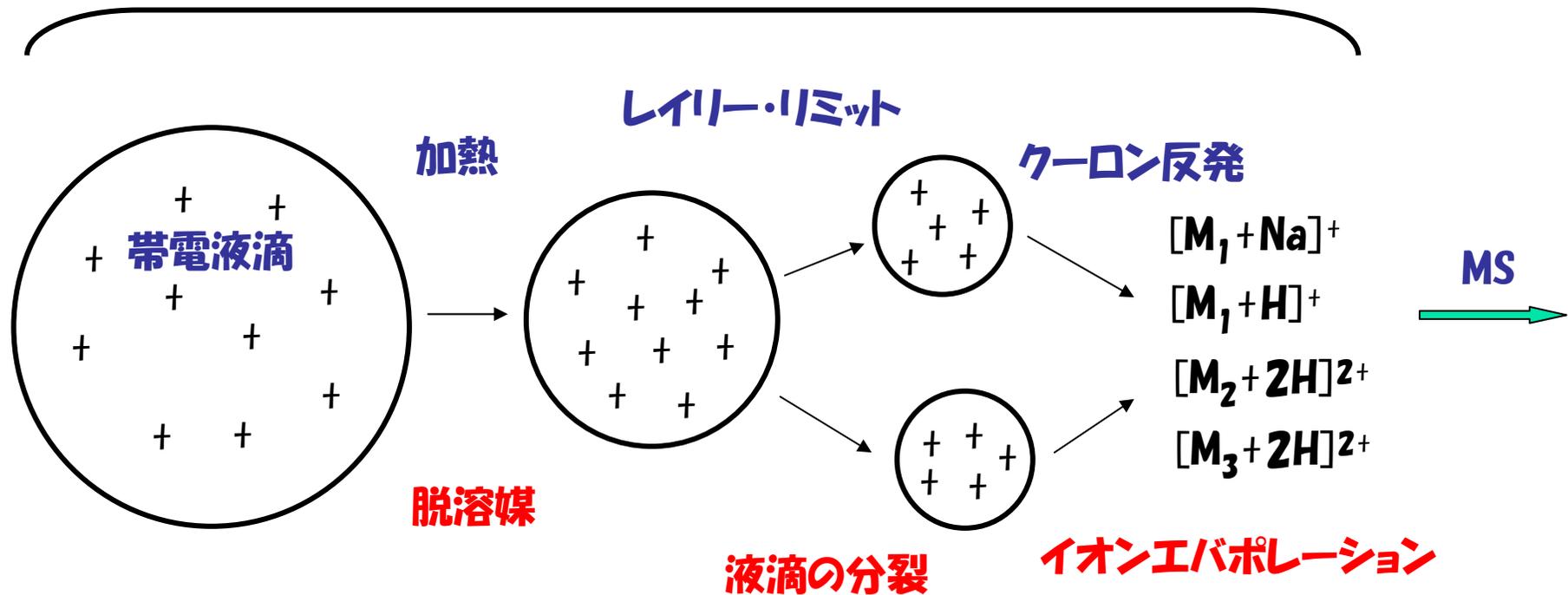
適する移動相流量：
0.2 mL/min

イオンが生成
する位置

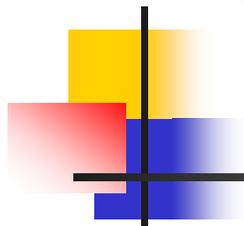


ESIのイオン生成

大気圧中



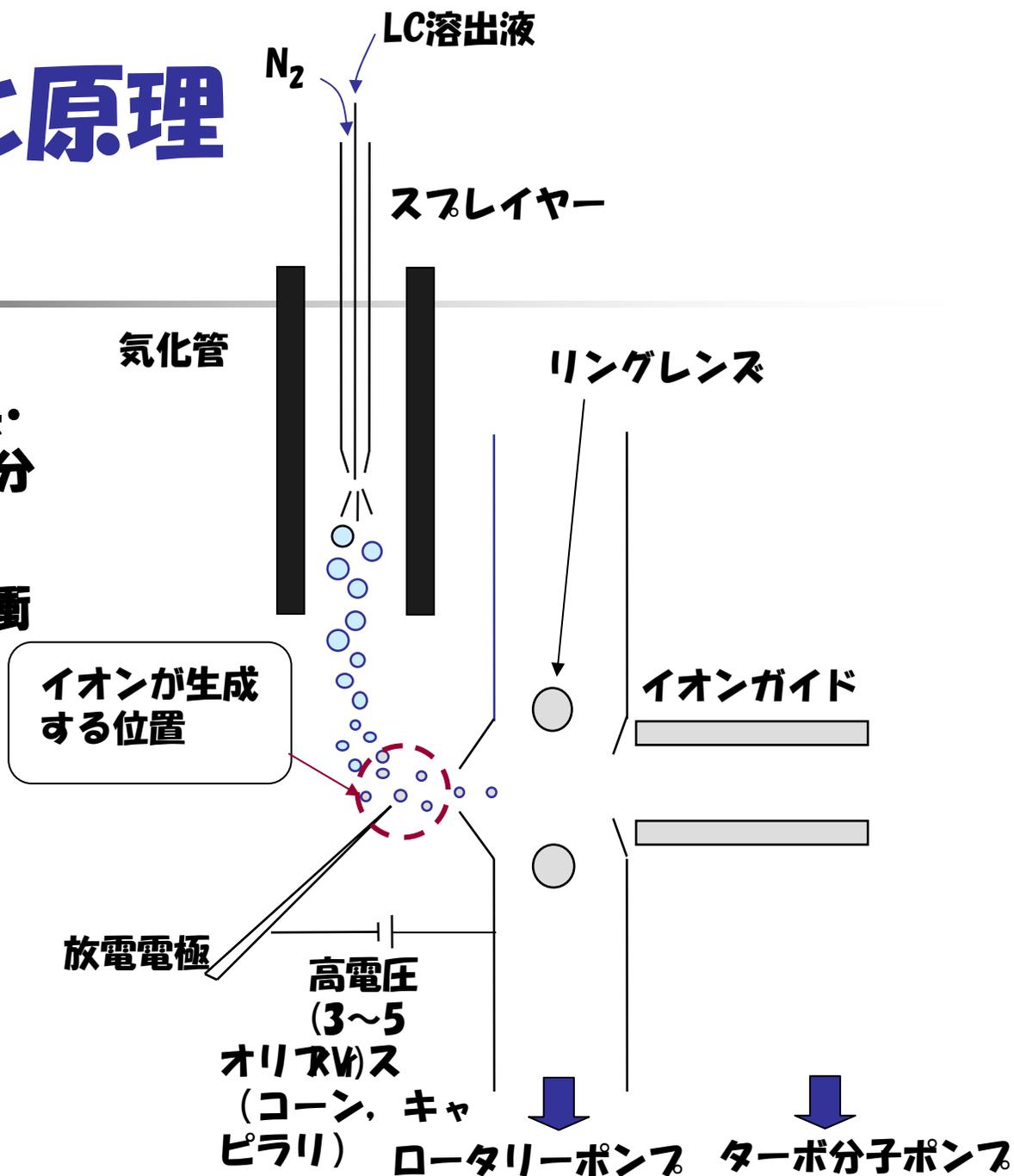
APCIの構造と原理



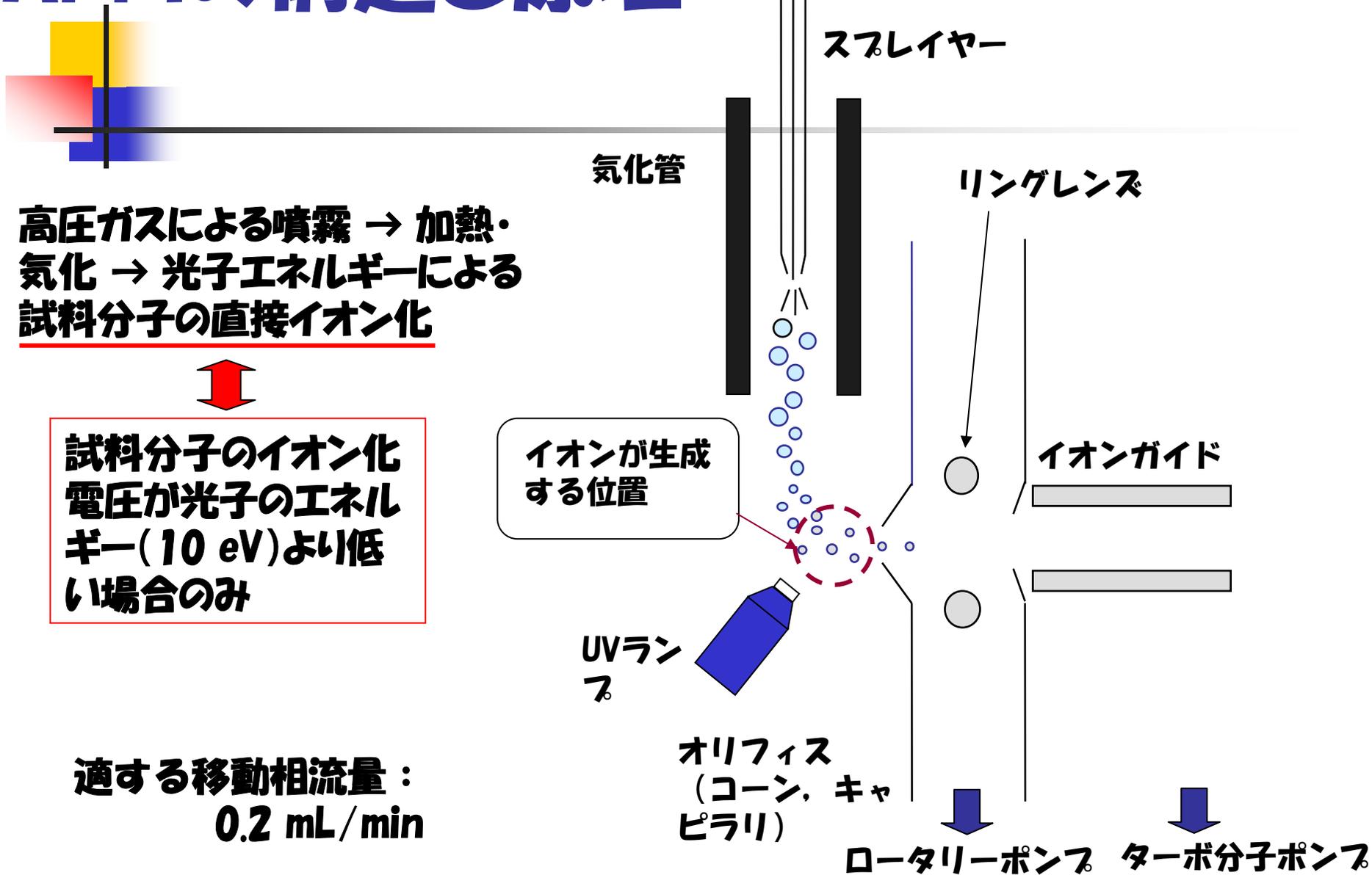
高圧ガスによる噴霧 → 加熱・
気化 → コロナ放電 → 溶媒分
子イオンの生成

→ 溶媒イオンと試料分子の衝
突 → 試料イオン生成

適する移動相流量：
1 mL/min



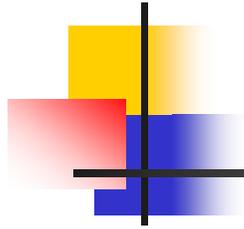
APPIの構造と原理



LC/MSで得られるイオン種

- 基本的に溶媒とのプロトン移動でイオンが生成する。
 - 正イオン検出： $[M+H]^+$ 、負イオン検出： $[M-H]^-$
(呼び方：プロトン化分子、脱プロトン化分子)
- その他、溶媒中の不純物や溶媒分子の付加イオンが生成し易い。
 - $[M+Na]^+$, $[M+NH_4]^+$, $[M+H+Sol]^+$, $[M+Cl]^-$ など

☆ LC/MSで用いられているイオン化法は、イオン化のエネルギーが低いので、フラグメントイオンは殆ど生成しない。



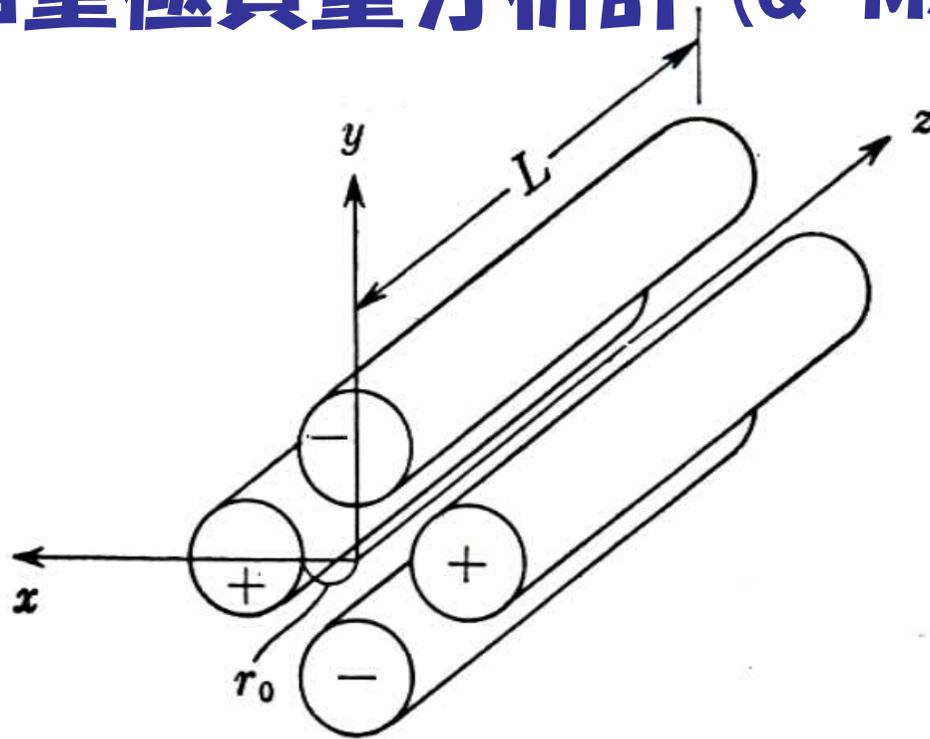
質量分離部(分析計)の種類と原理

質量分離部（分析計）の種類

役割：イオンを m/z 値に応じて分離

- 四重極（Q）、三連四重極（QqQ）
- イオントラップ（IT）
- 飛行時間（TOF）
- 磁場型（Sector）
- フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴（FTICR）
- ハイブリッドタンデム（MS/MS）
 - Q-TOF, IT-TOF, Qトラップ, Q-FTICR

四重極質量分析計 (Q-MS)



ロッドの印加電圧

$$\pm (V_{dc} + V_{ac} \cdot \cos \omega t)$$

V_{dc} : 直流電圧

V_{ac} : 高周波交流電圧

周期的にポールの極性を変えることにより、イオンはz軸上を振動しながら進む

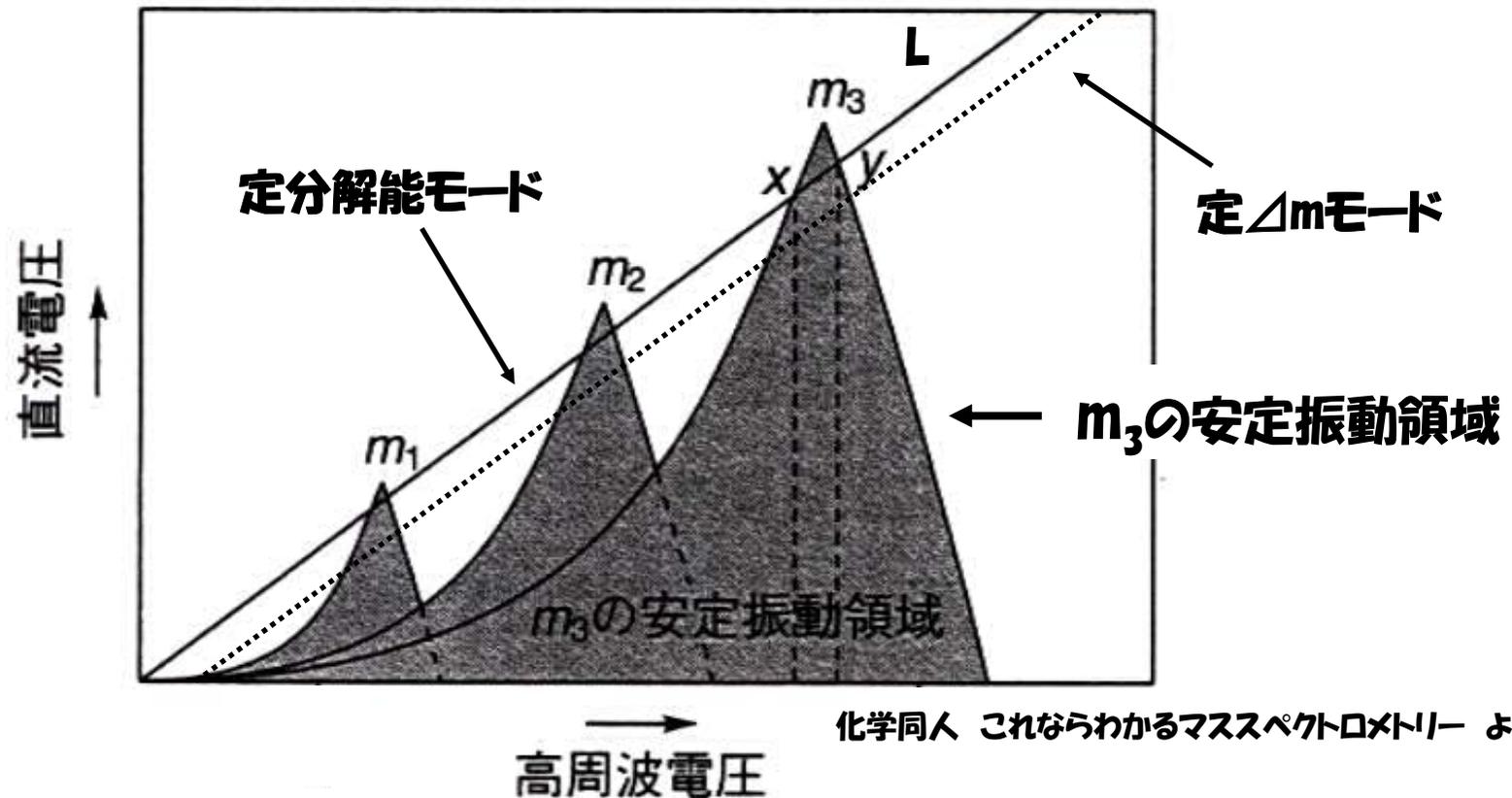
$$m/z = k (V_{ac} / r_0^2 f^2)$$

V_{ac} : 高周波交流電圧[V]

r₀ : z軸と電極の距離[mm]

f : 高周波数[MHz]

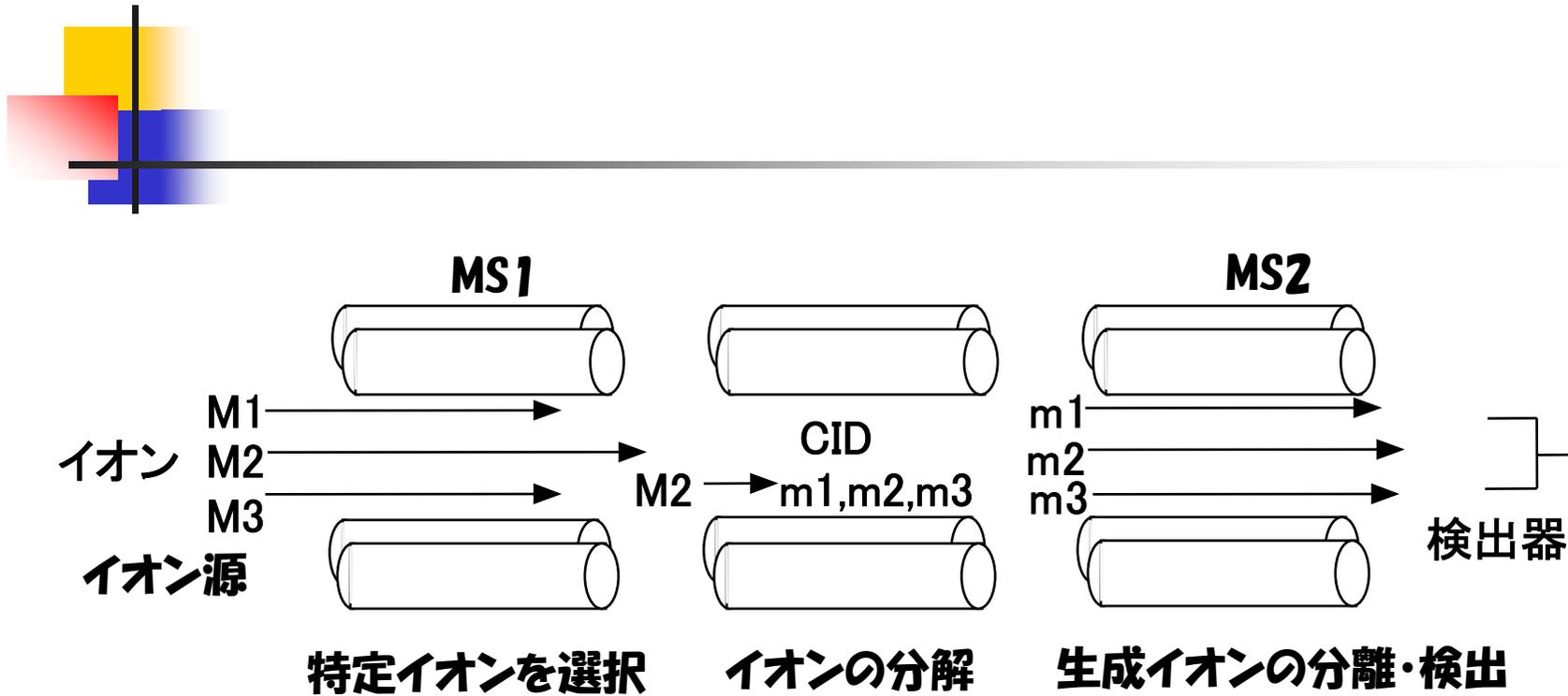
直流電圧と高周波電圧の比が一定となるように電圧を変化させる。



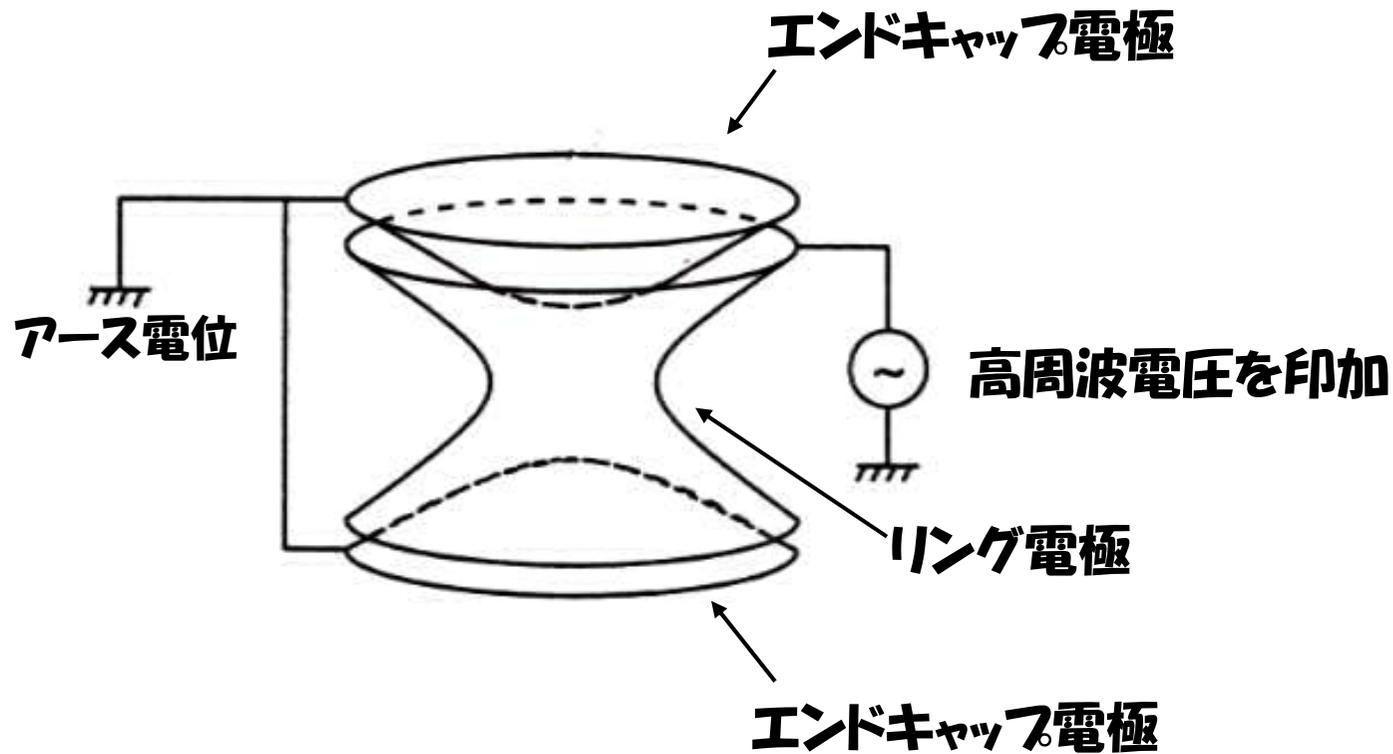
直流電圧と高周波電圧の比を連続走査 \Rightarrow スキャン測定、マスペクトル:定性

直流電圧と高周波電圧の比を段階的に変化 \Rightarrow SIM測定、SIMクロマトグラム:定量

三連四重極質量分析計 (QqQ-MS)



イオンラップ質量分析計 (IT-MS)

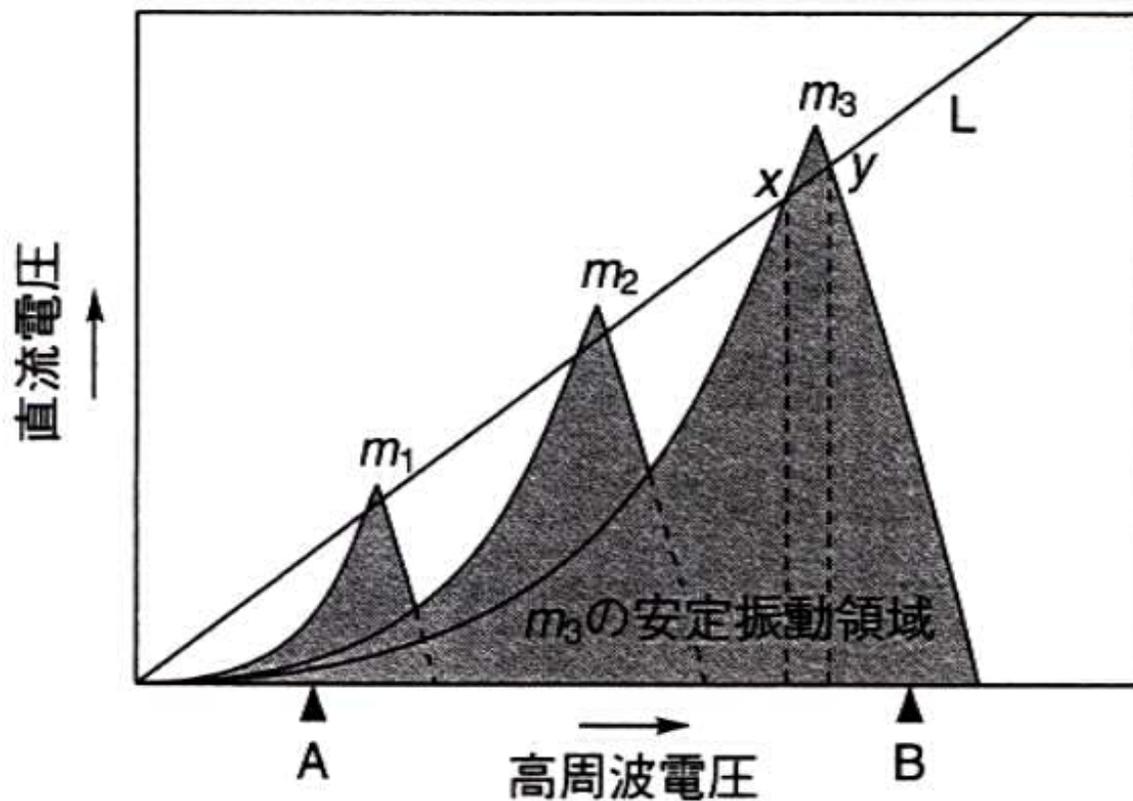


イオンは振動しながら電極内部の空間に留まる。

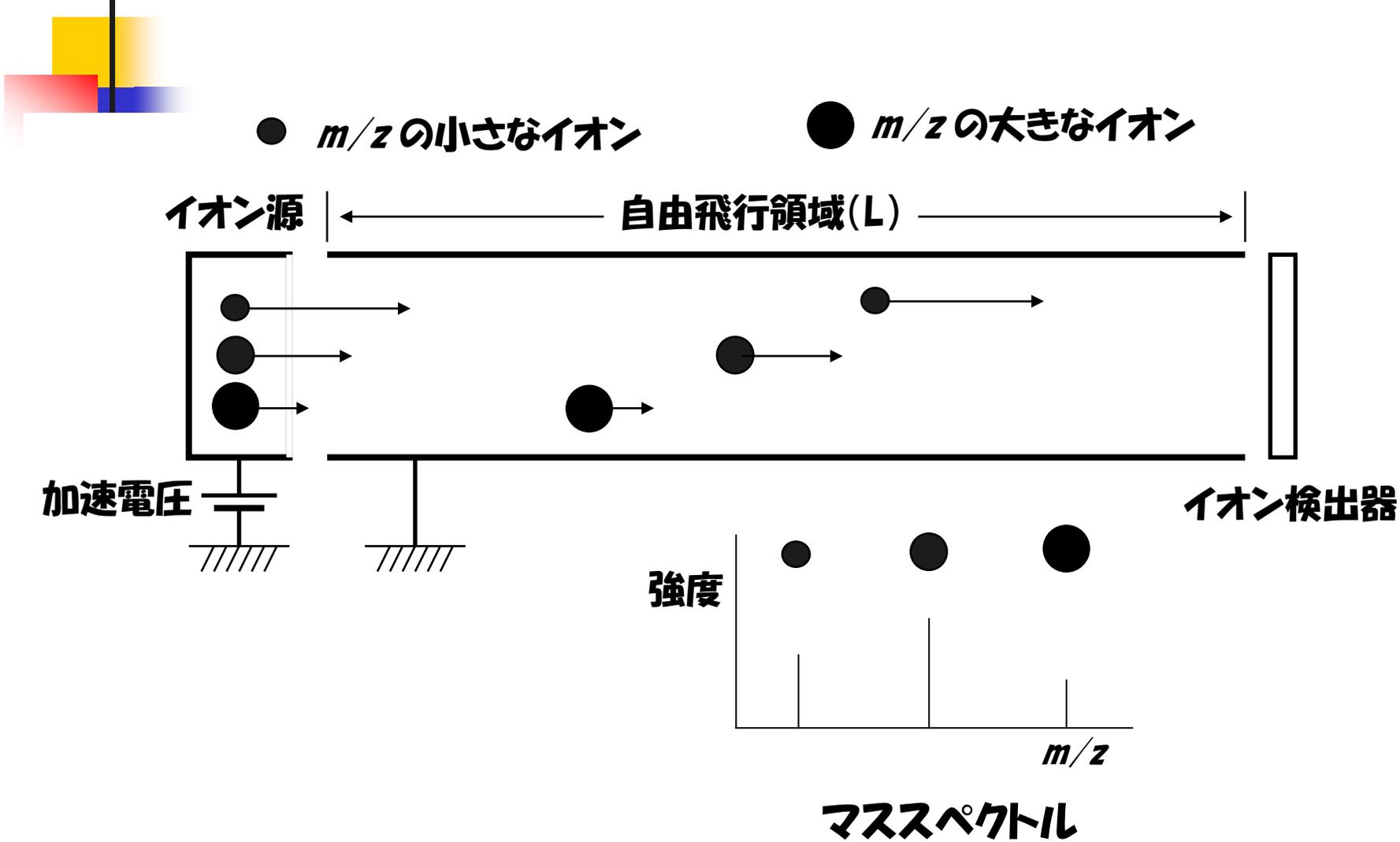
$$m/z = kV_{ac}$$

V_a : 高周波交流電圧[V]

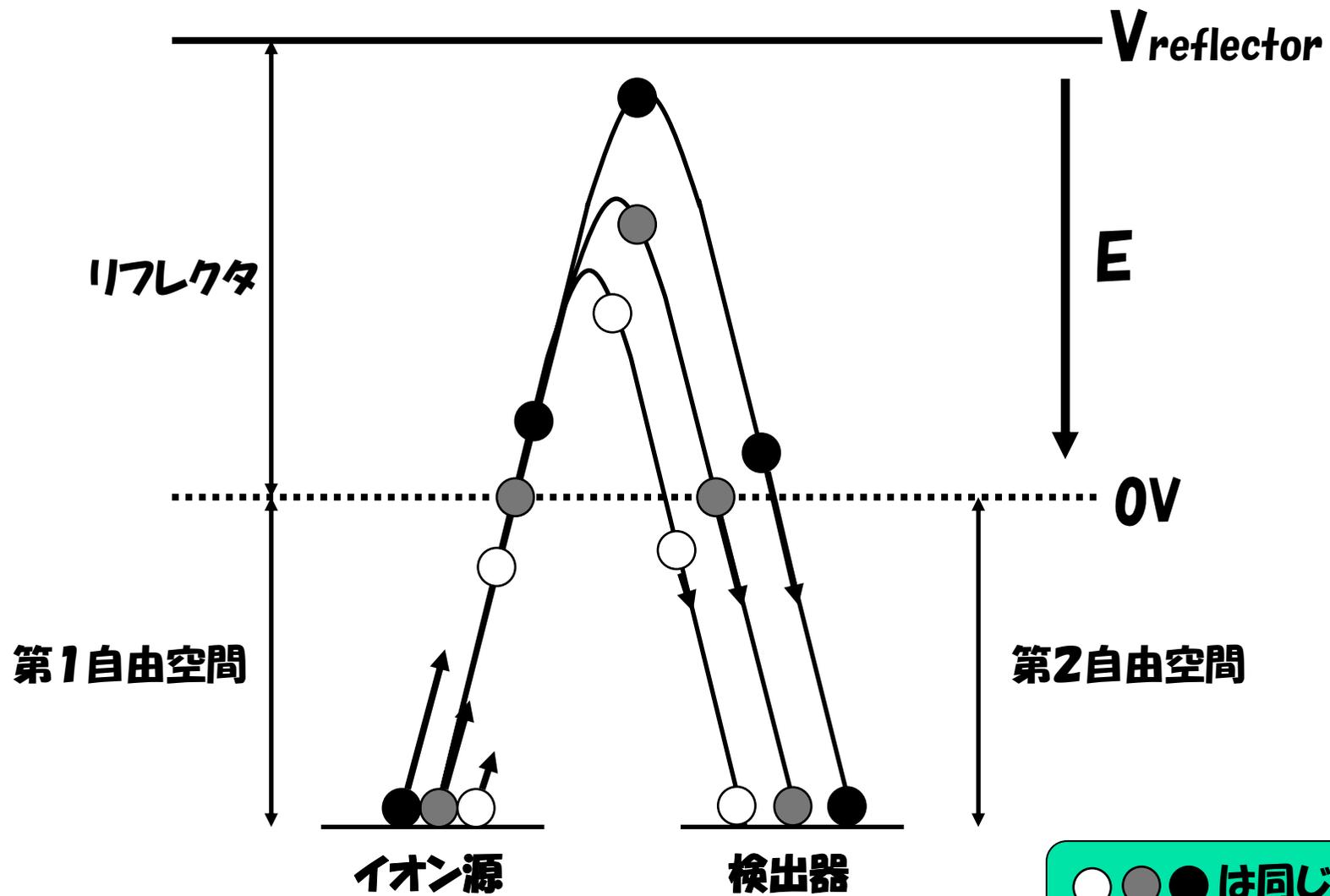
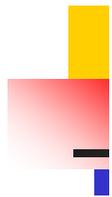
高周波電圧のみを変化させることで、振動が不安定になったイオンがエンドキャップ電極の出口から外に飛び出す。



飛行時間質量分析計 (TOF-MS)



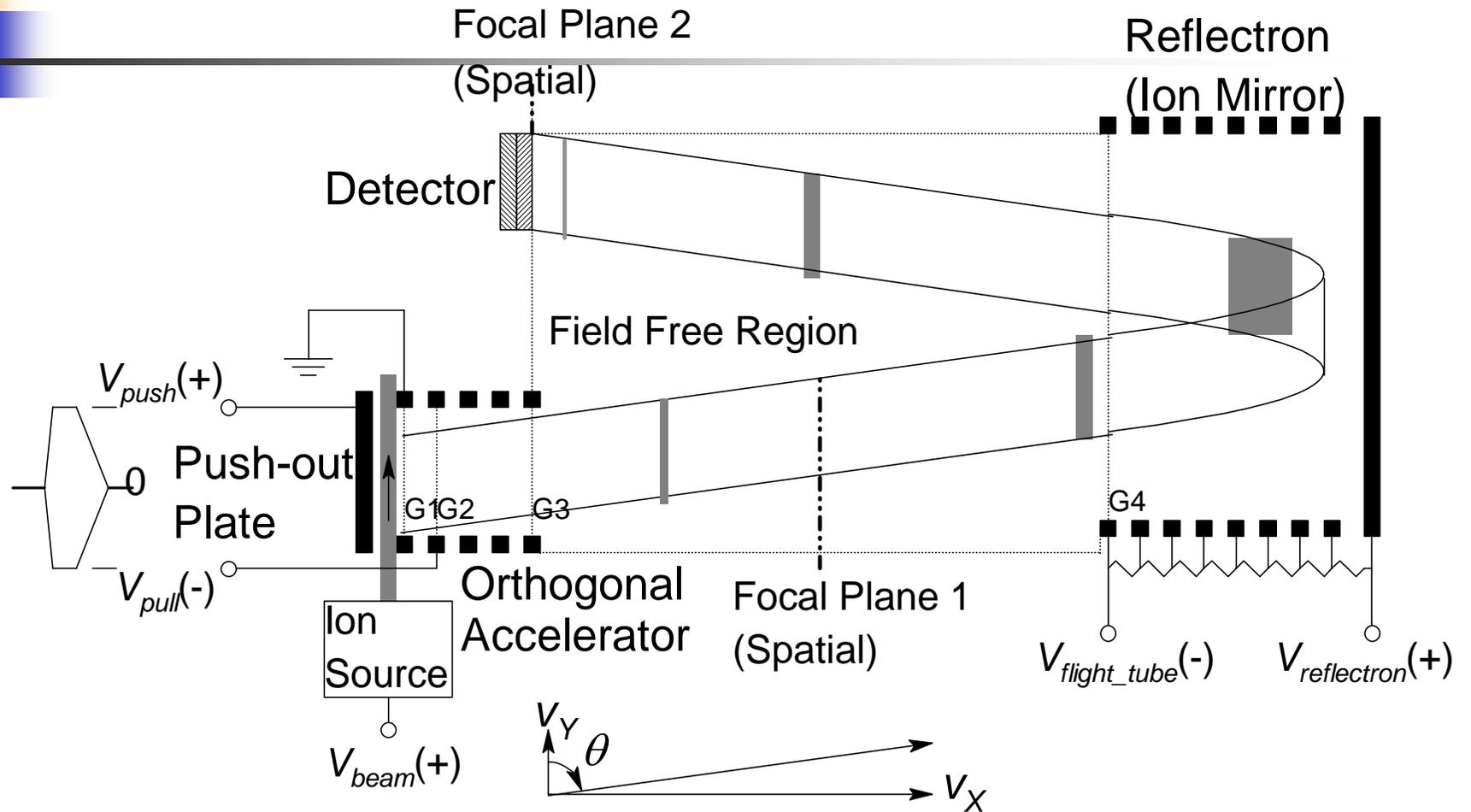
リニア型TOF-MSの原理



○ ● ● は同じ m/z のイオン

リフレクトロン型TOF-MSの原理

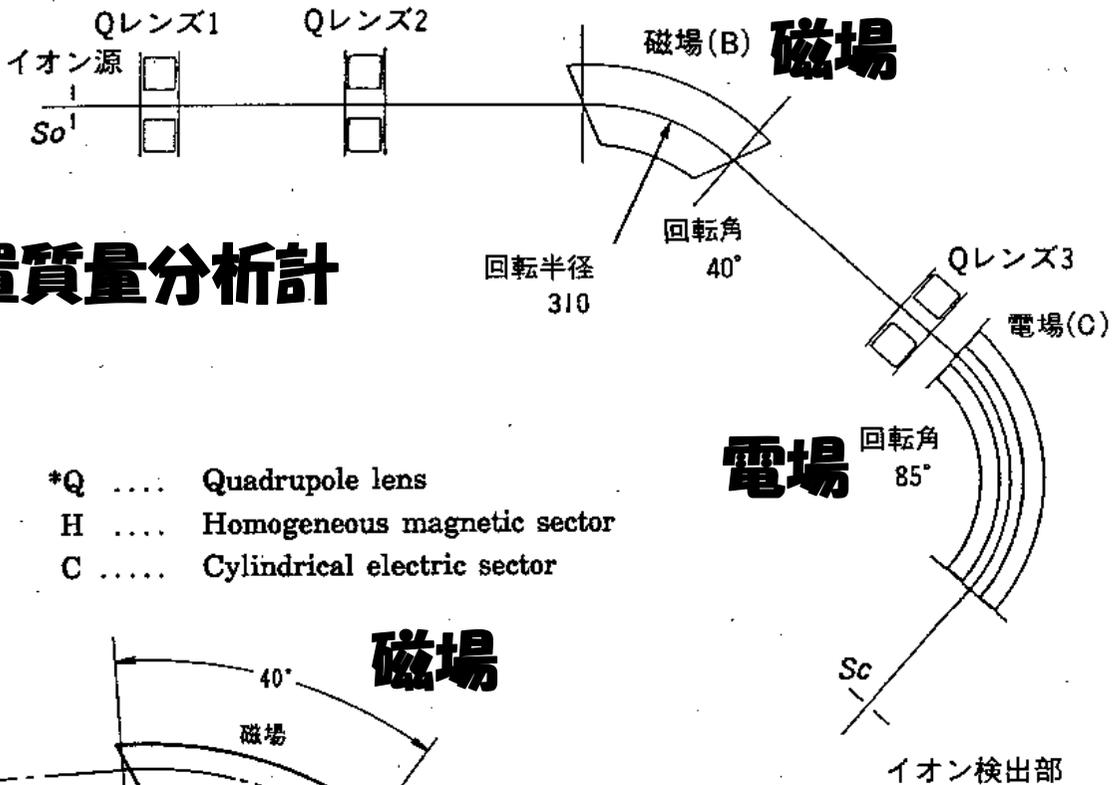
直交加速(oa)技術 oa: orthogonal acceleration



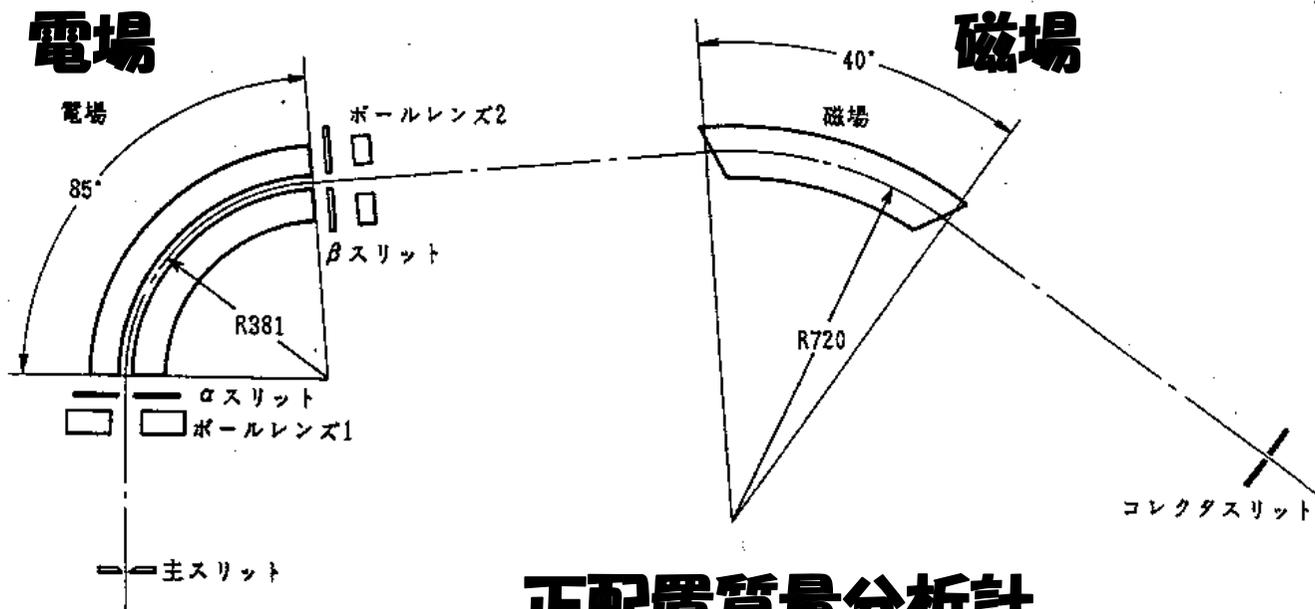
$$\tan \theta = (v_y/v_x) = ((-V_{flight_tube} + 1/2 V_{push}) / V_{beam})^{1/2}$$

磁場型質量分析計 (Sector-MS)

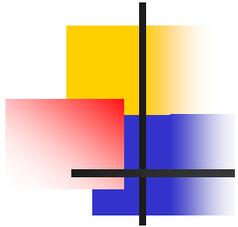
逆配置質量分析計



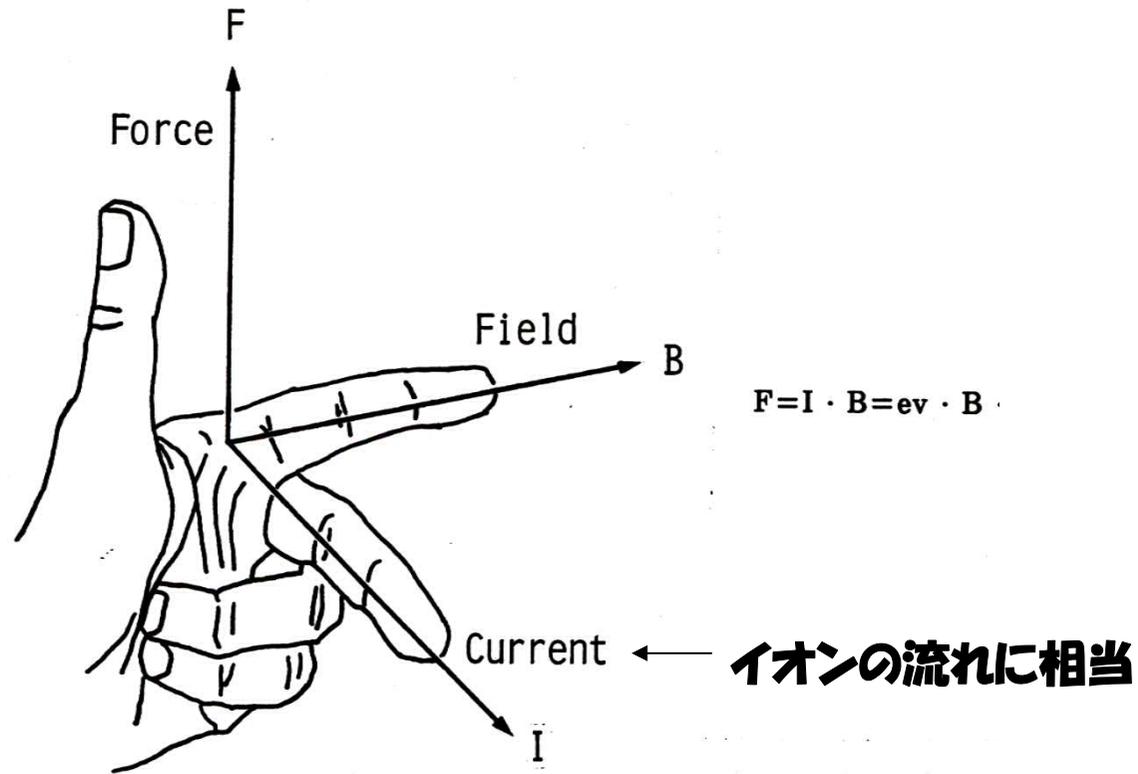
- *Q Quadrupole lens
- H Homogeneous magnetic sector
- C Cylindrical electric sector



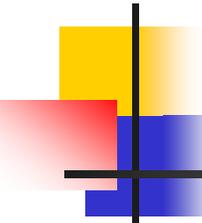
正配置質量分析計



磁場に入射するイオンは磁界に垂直の方向に力が働く

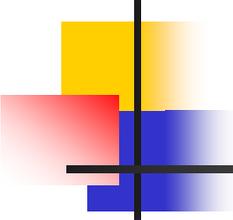


フレミングの左手の法則



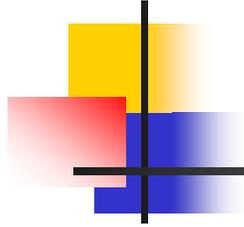
目的別分析計種類(1)

- 定量分析(夾雑成分の少ない試料)中心あるいは分子量確認&スペクトル確認
 - QMS
- 定量分析(夾雑成分の多い試料)中心、一寸した構造解析
 - トリプルQMS, リニアイオントラップ
- ハイスループットミスマス測定中心
 - TOF



目的別分析計種類(2)

- **構造解析中心(低質量精度)**
 - **イオントラップ, リニアイオントラップ。**
- **本格的な構造解析(高質量精度)**
 - **Q-TOF, FT-ICR, Orbi-trap**
- **イオン-分子反応の観測**
 - **FT-ICR**



LC/MSにおける定性分析

LC/MSにおける定性分析(1)

- API (ESI, APCI)の特徴

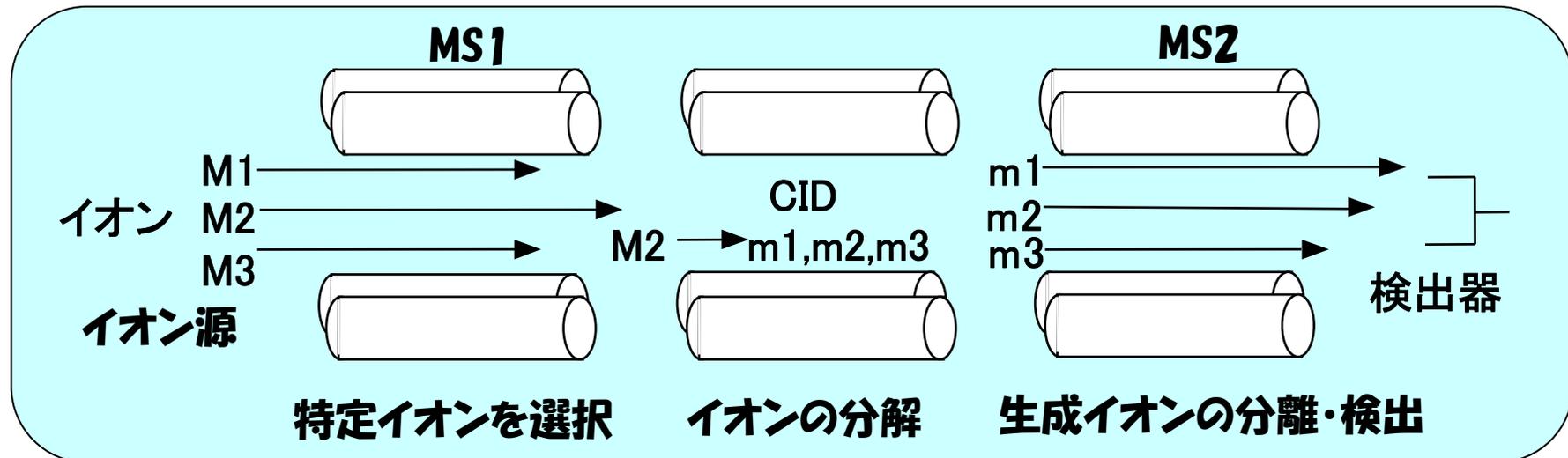
- ソフトイオン化
 - プロトン化分子 ($[M+H]^+$)、脱プロトン化分子 ($[M-H]^-$) が得られ易い
 - 溶媒、不純物の付加イオン
 - $[M+Na]^+$, $[M+NH_4]^+$, $[M+H+Solv]^+$, $[M+Cl]^-$,
 - クラスターイオン ($[2M+H]^+$, $[3M+Na]^+$...)
- フラグメントイオンが生成し難い
→ 構造情報が乏しい

LC/MSにおける定性分析(2)

■ MS/MS測定(タンデム(MS/MS)のみ可能)

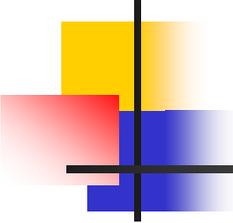
イオン源で生じた様々なイオン種に対して、衝突誘起解離(CID)などを利用して、特定のイオンの分解によって生成するイオンや、分解によって特定のイオン種を生成する元のイオン種、を検出する測定法。

例)三連四重極MSによるフラグメントイオンスキャン



◇その他

フリッカーサーイオンスキャン: 特定イオン種を生成するような前駆イオンを検出 **コンスタントニュートラルロススキャン:** 特定中性分子種を生成するような前駆イオンを検出



MS/MS分析可能な装置

- トリプルQMS
- 4-Sector MS Tandem in Space
- ハイブリッド
 - Q-TOF, Qqニアトラップ
- イオントラップ Tandem in Time
- FT-ICR

LC/MSにおける定性分析(3)

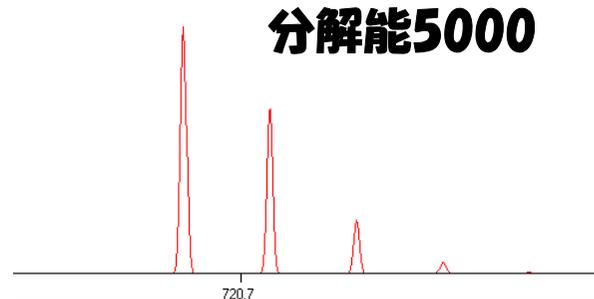
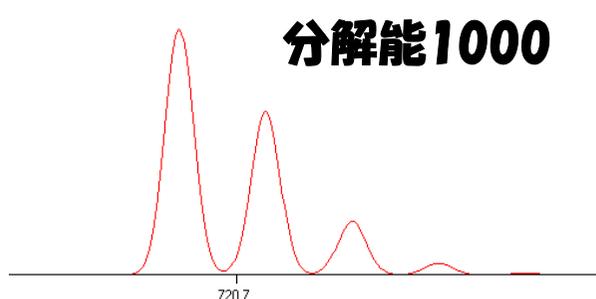
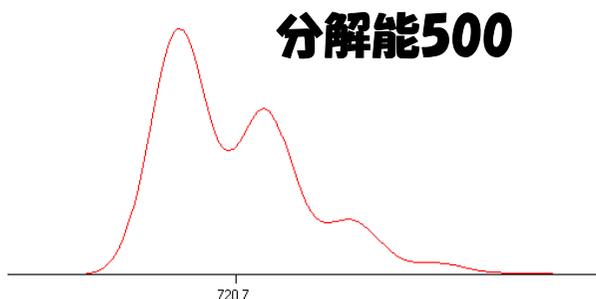
精密質量測定(高分解能装置で可能)

炭素同位体 ^{12}C の質量を基準値として 12.000000u (or Da)とした時の各元素の質量。
(例) $^1\text{H}=1.007825$, $^{16}\text{O}=15.994917$, $^{14}\text{N}=14.003074$, $^{35}\text{Cl}=34.968853$ など

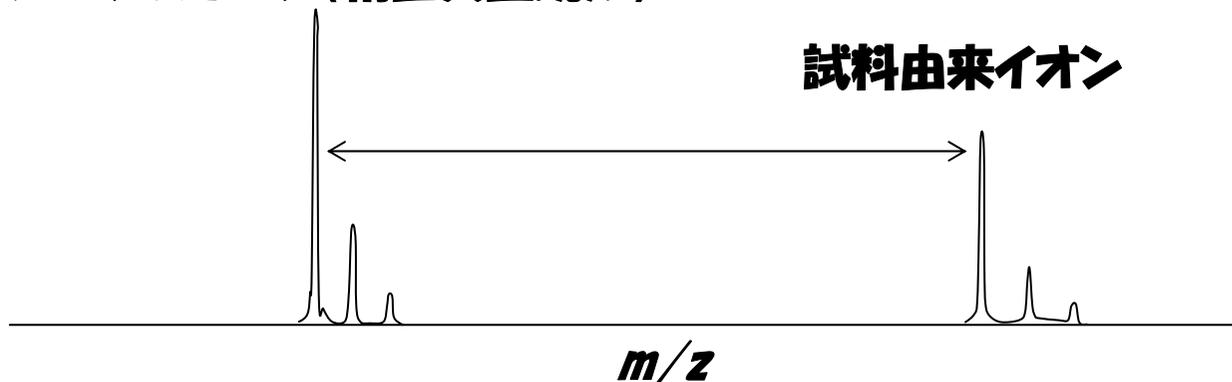
C60, Resolution (10%): 500, Charges: 1

C60, Resolution (10%): 1000, Charges: 1

C60, Resolution (10%): 5000, Charges: 1



リファレンスイオン(精密質量既知)



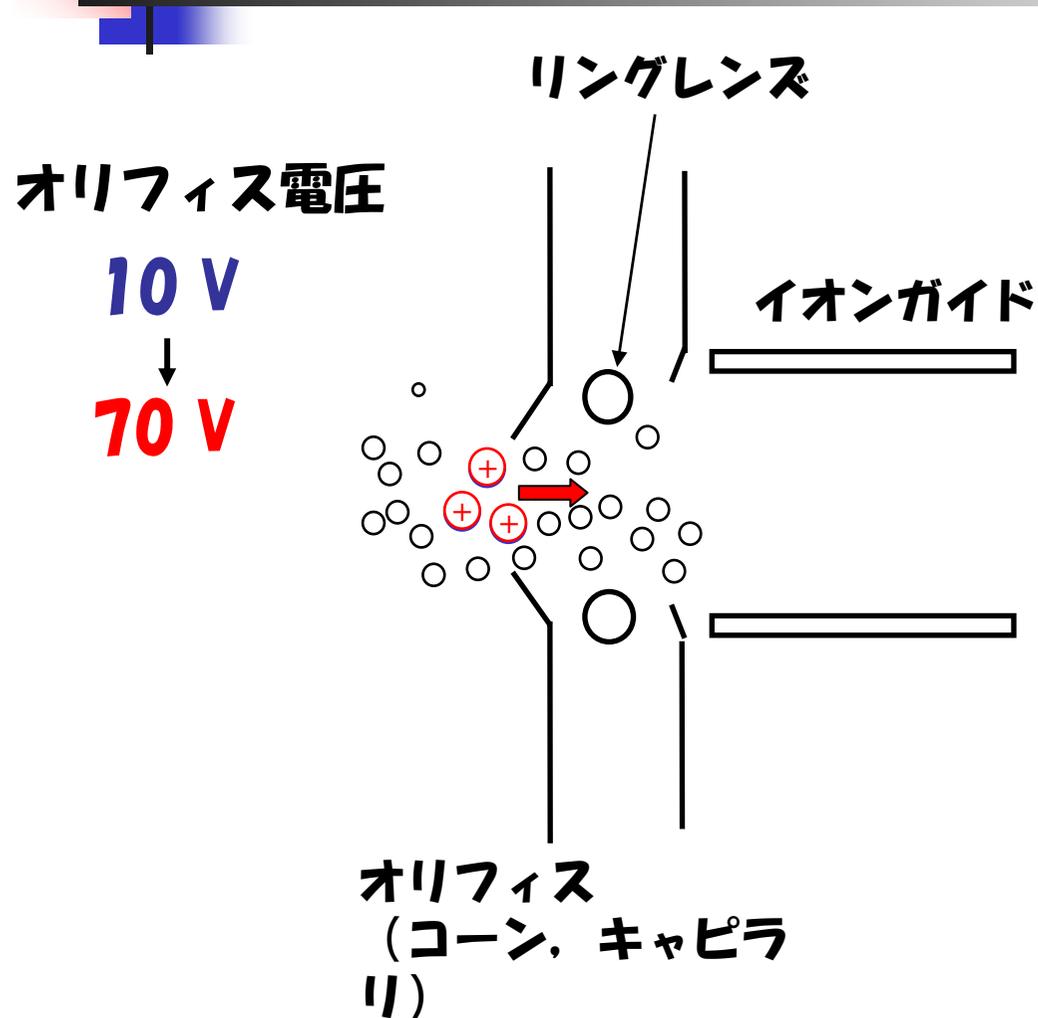
両イオンの距離

↓
試料イオンの精密質量演算

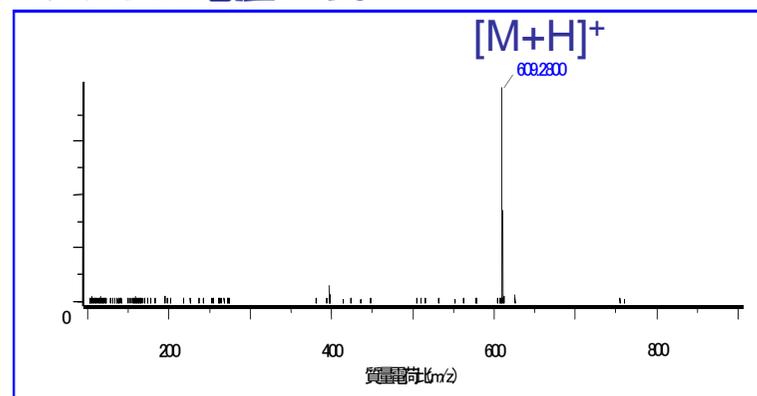
↓
構成元素の組成推定

LC/MSにおける定性分析 (4)

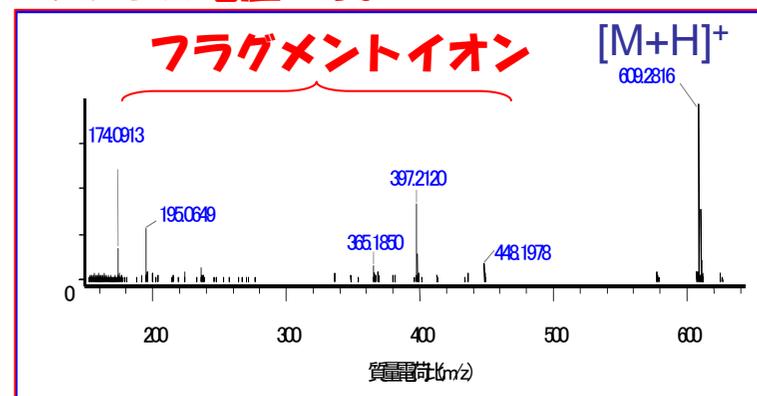
In-Source CID (全てのLC-MSで可能)

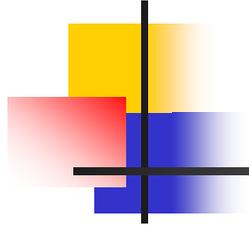


オリフィス電圧: 10 V



オリフィス電圧: 70 V

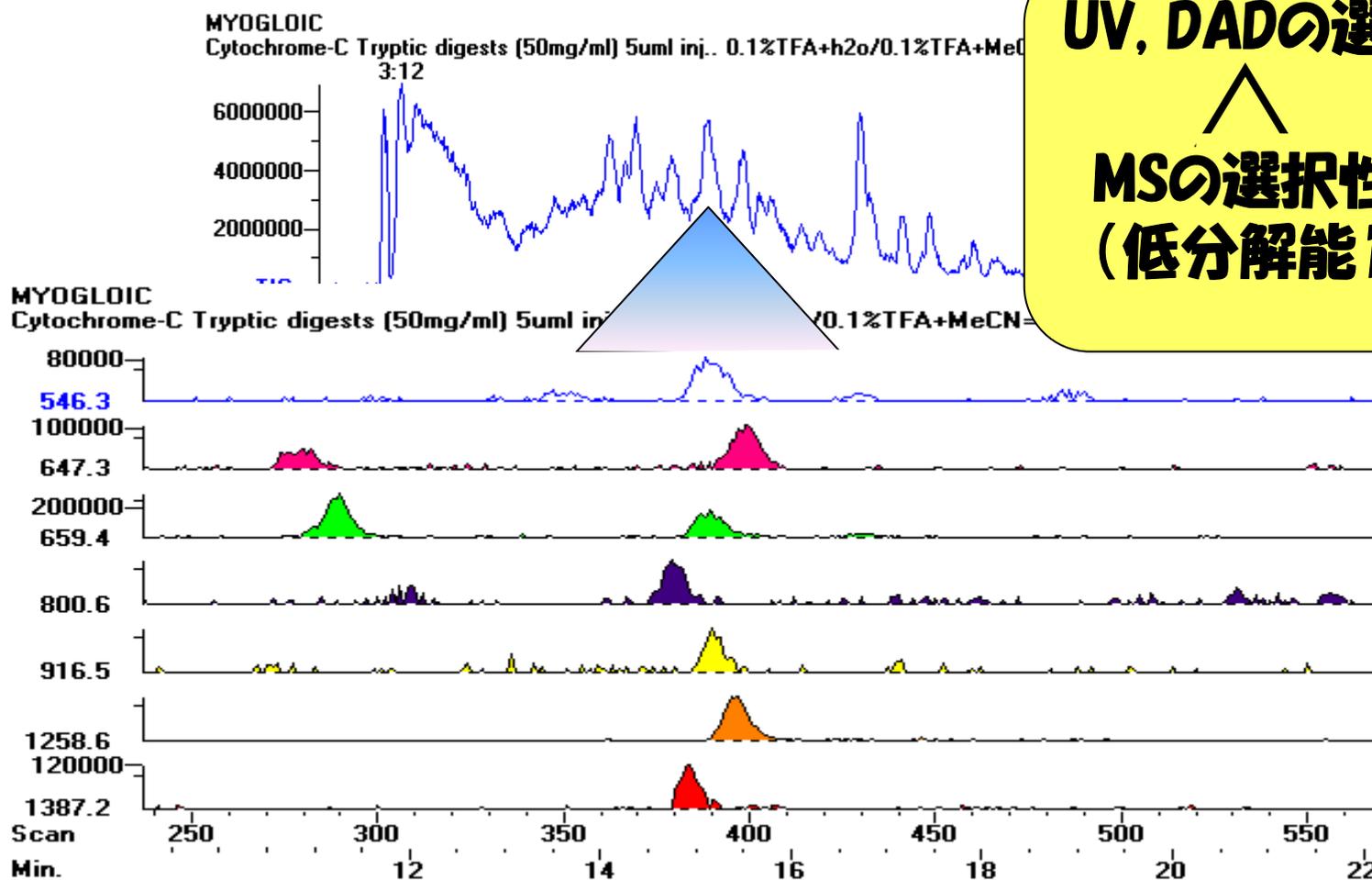




LC/MSにおける定量分析

LC/MSを用いた定量分析

✧ 未分離ピークをMS的に分離

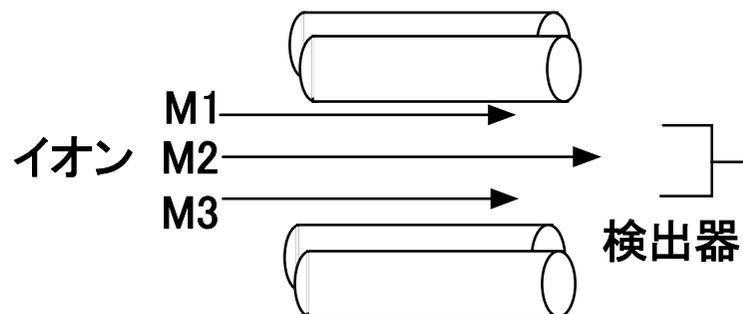


UV, DADの選択性

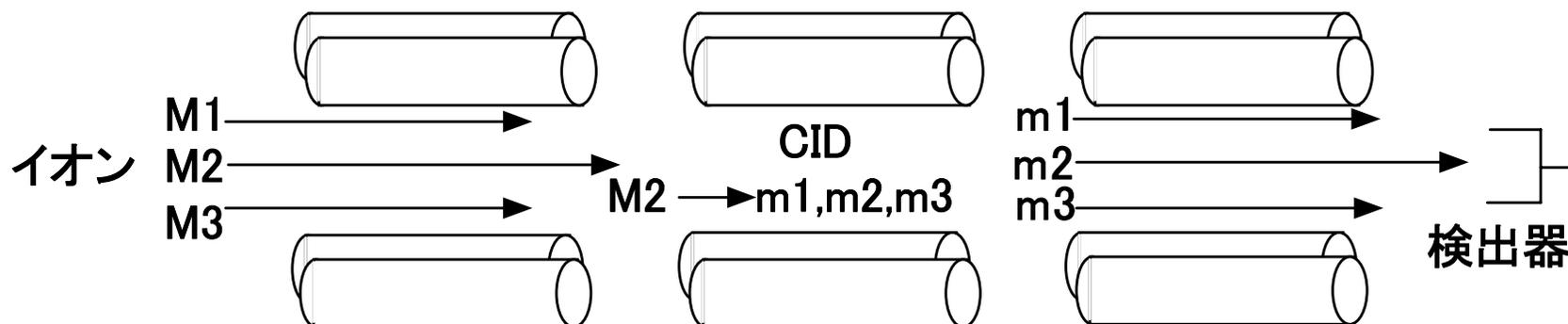
MSの選択性
(低分解能1 u)

定量分析に用いられる測定法

✧ SIM (Selected Ion Monitoring)



✧ SRM (Selected Reaction Monitoring)



選択反応検出法 (SRM or MRM)

～MS/MS 測定を利用した定量分析～

- MS/MS: 本来はイオンの構造解析手法



選択性向上の目的で定量分析に応用

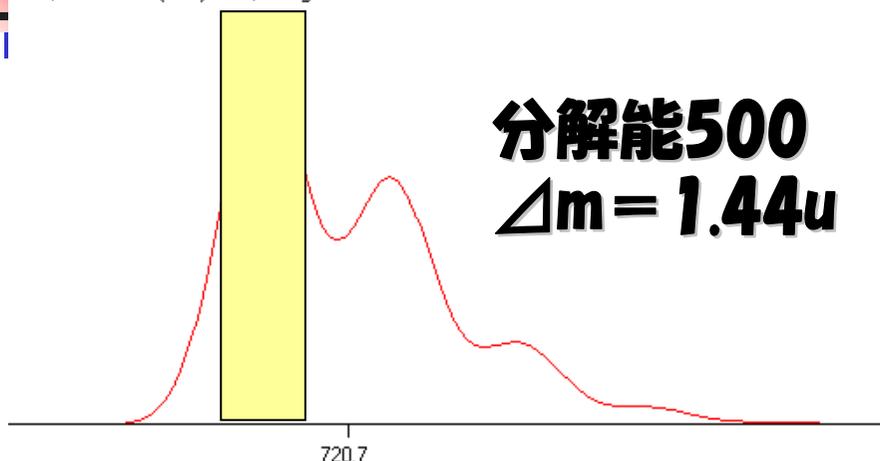
方法: フロダクトイオンスキャン + SIM測定
(使用装置: QqQ or QqLIT)

- ① Q1で目的イオンを選択(複数設定可能)
- ② qで開裂(CID)、フロダクトイオン生成
- ③ Q3で、定量するフロダクトイオンを選択・検出(化合物特異的なフロダクトイオンを選択すると良い)

高分解能を利用した選択性の向上

■ 高分解能SIM法、高分解能マスクロマトグラム法

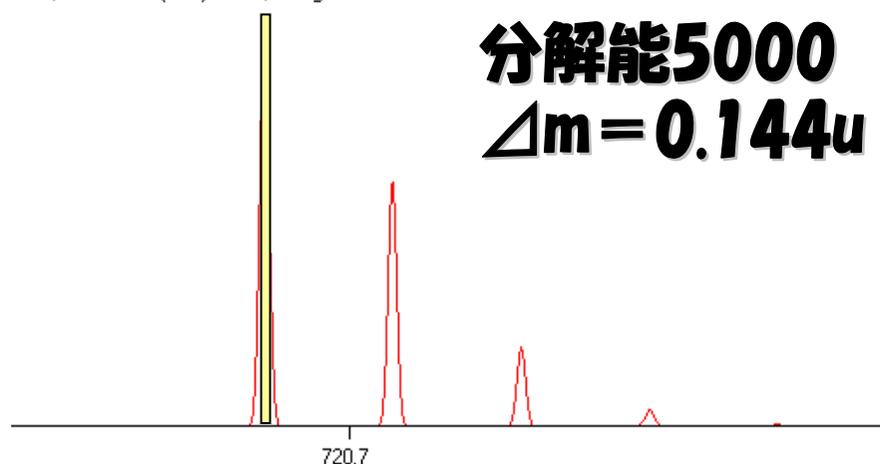
C60, Resolution (10%): 500, Charges: 1



分解能500
 $\Delta m = 1.44u$

信号を取り込む m/z 範囲: 広
選択性: 低

C60, Resolution (10%): 5000, Charges: 1



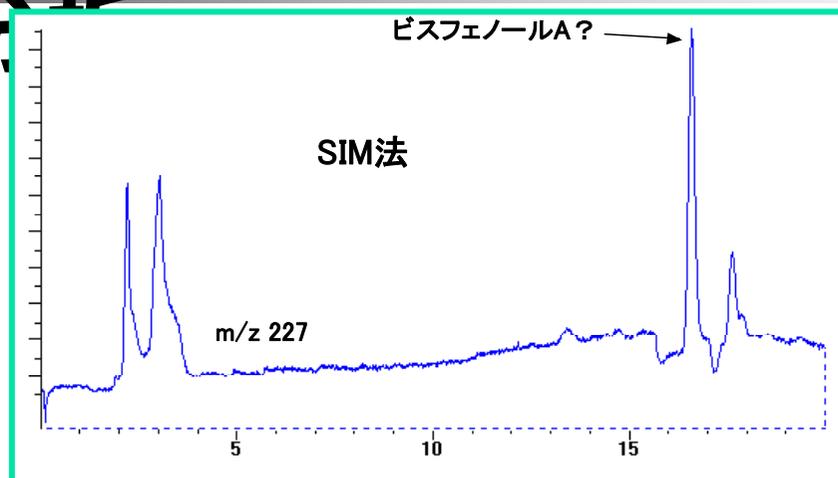
分解能5000
 $\Delta m = 0.144u$

信号を取り込む m/z 範囲: 狭
選択性: 高

使用装置: 磁場型、TOF

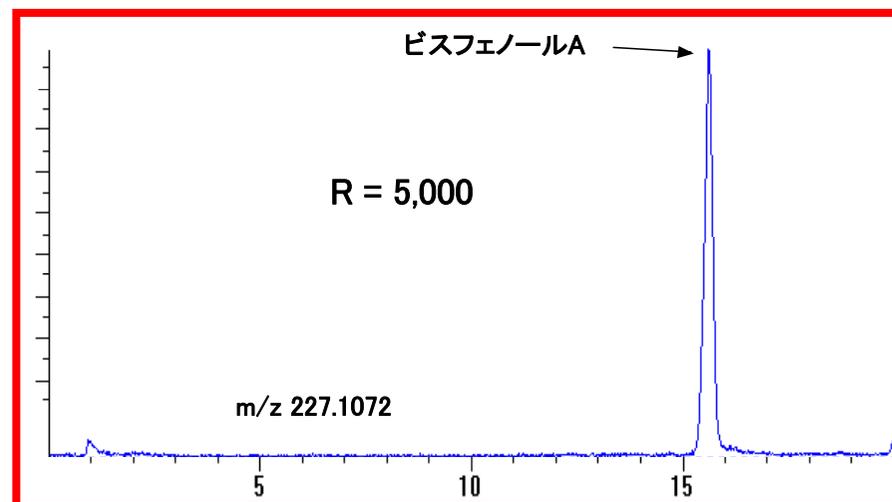
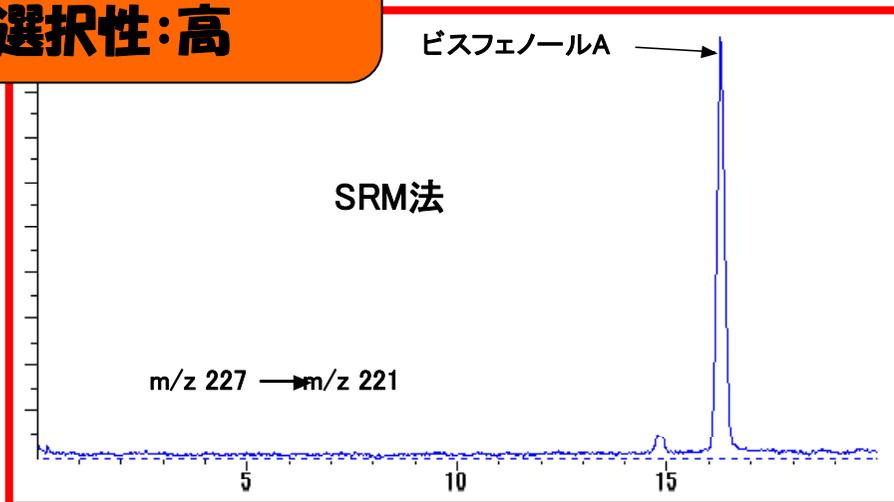
SIM, SRM, 高分解能SIMデータ

✦ ポリカーボネート製プラスチック中のビスフェノールAの分析



ノイズレベル:高
選択性:低

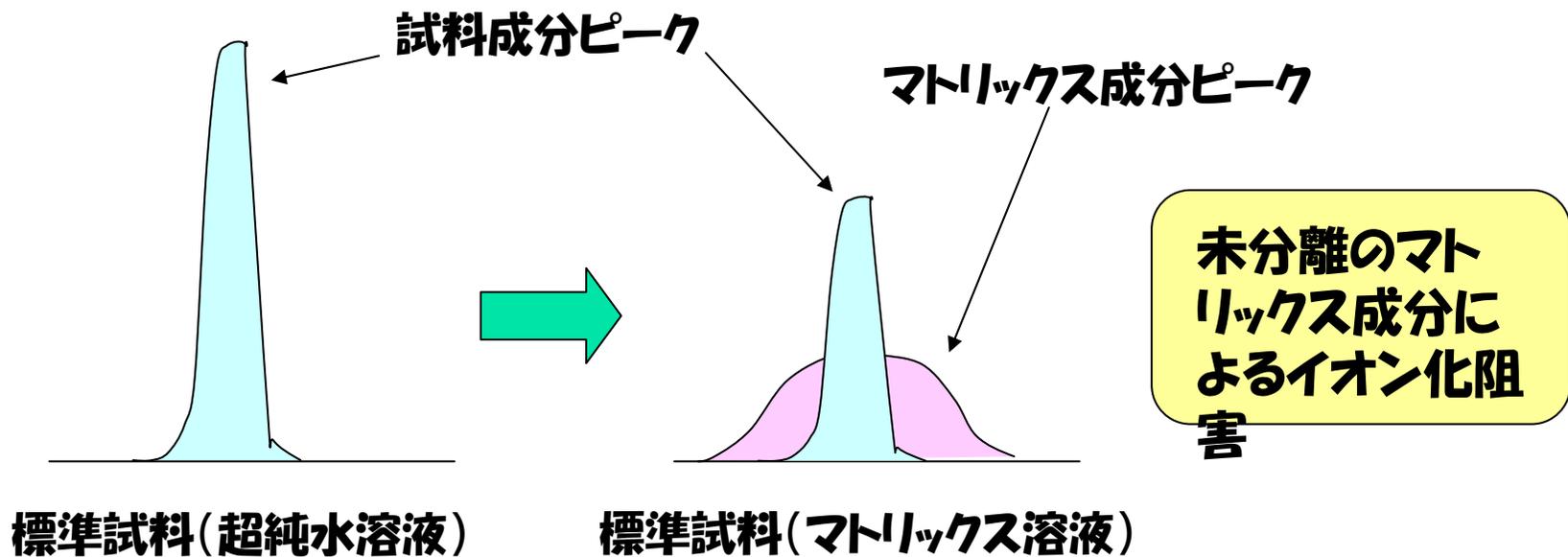
ノイズレベル:低
選択性:高



LC/MSによる定量分析の注意点1

- マトリックス効果: マトリックス成分による、分析対象成分のイオン化阻害 or イオン化促進

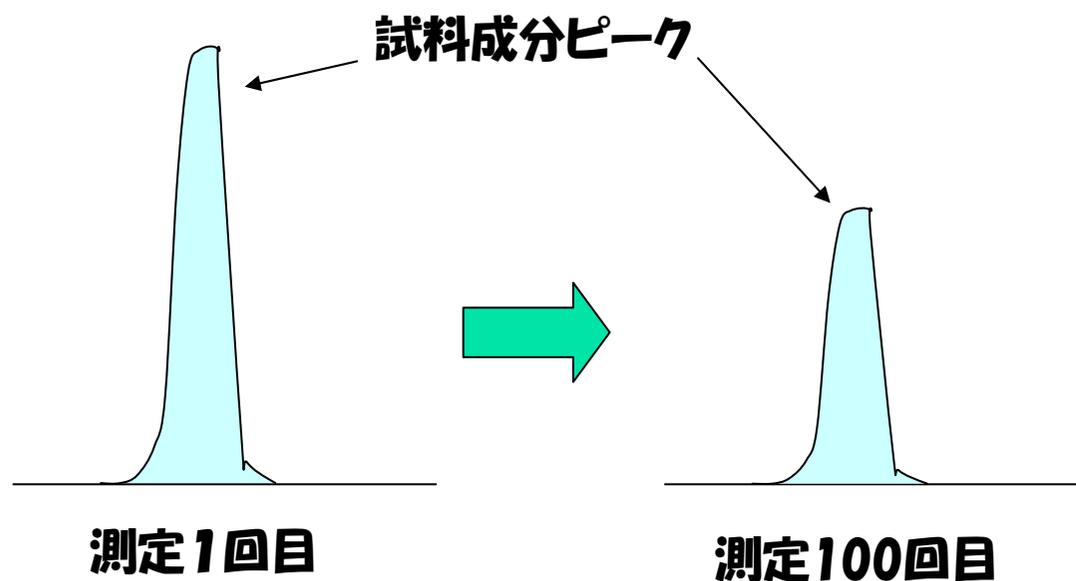
例)ある標準物質を、超純水と含マトリックス液(河水水など)に溶解、LC-MS分析した時の、試料成分のマス(SIM)クロマトグラム



LC/MSによる定量分析の注意点2

- **イオン強度の長期安定性:イオン源汚染による感度低下**

例)ある標準物質を、血漿試料に溶解、100回連続でLC-MS分析した時の、試料成分のマス(SIM)クロマトグラム

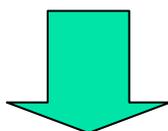


イオン源汚染
による検出感
度の低下

LC/MSによる定量分析

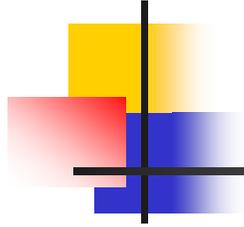
■ 内標の利用

⇒安定同位体(^2H , ^{13}C など)標識化合物が望ましい



- ・イオン源汚染による感度低下
- ・夾雑成分によるイオン化阻害

補正可能!



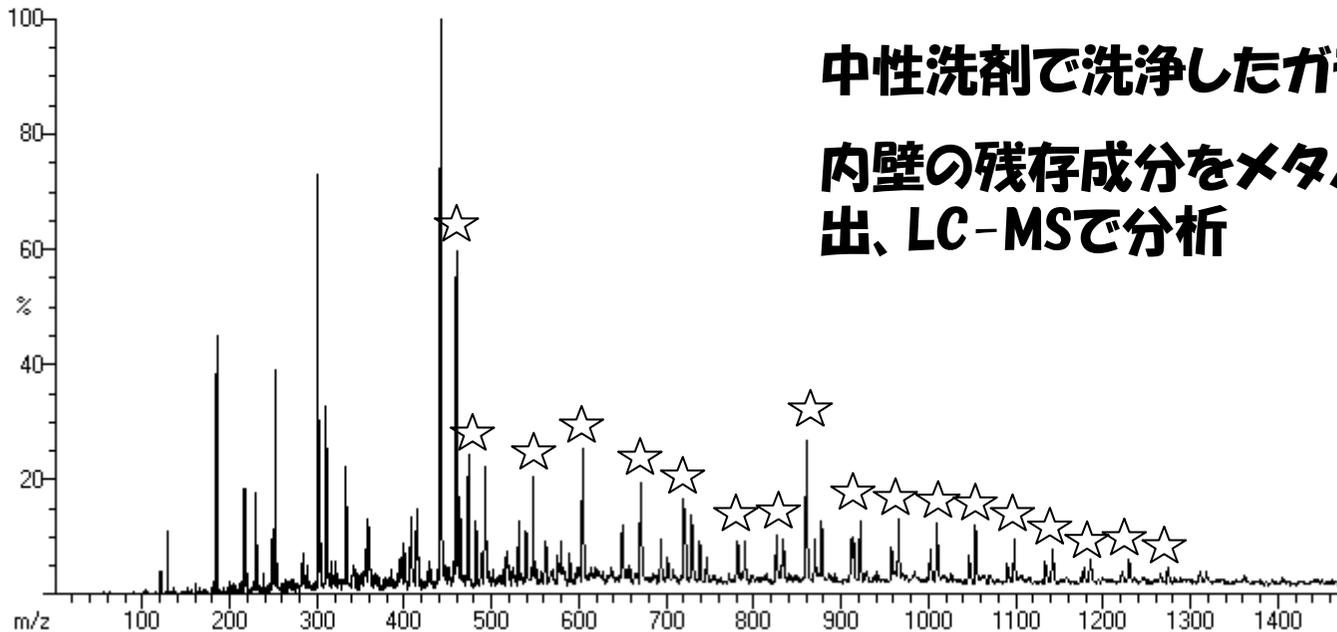
分析上の注意点、ノウハウ

試料前処理

- 基本的にはLC分析と同じ
ただし、幾つか注意点が...

① 洗浄済みのガラス器具を使用する時

洗剤で洗った器具は、界面活性材残存の可能性



試料前処理つづき

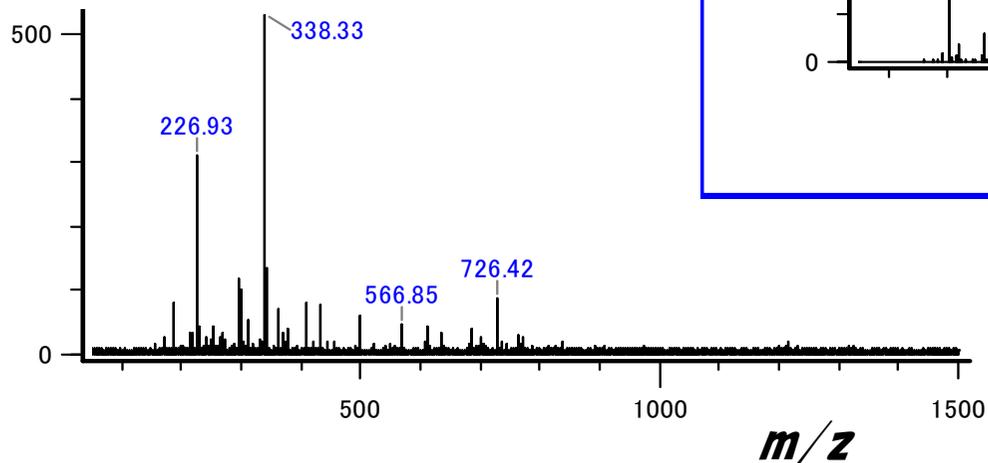
② フラスチック製サンプルチューブの使用

内壁からの溶出成分に注意！！

A社製

MS[1];0.439..0.636;ESI+;TubeTest03

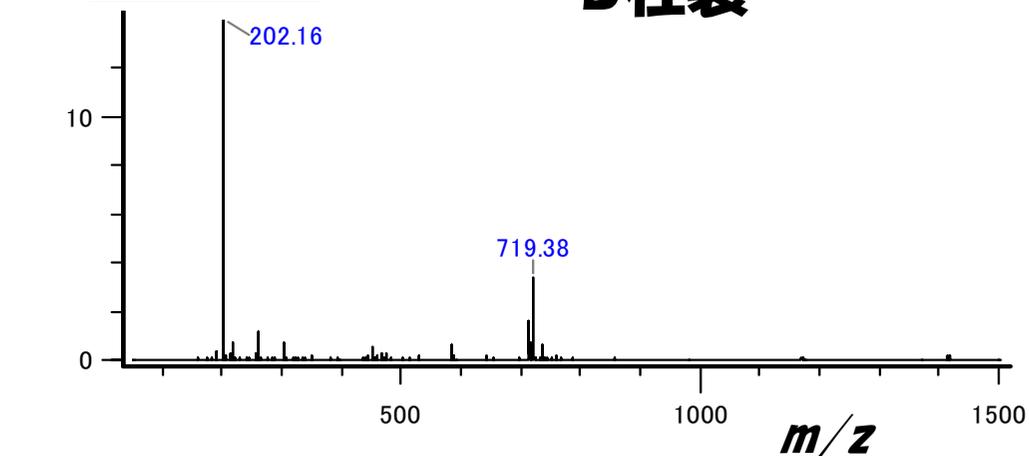
強度(500)



B社製

MS[1];0.620..0.887;ESI+;TubeTest09

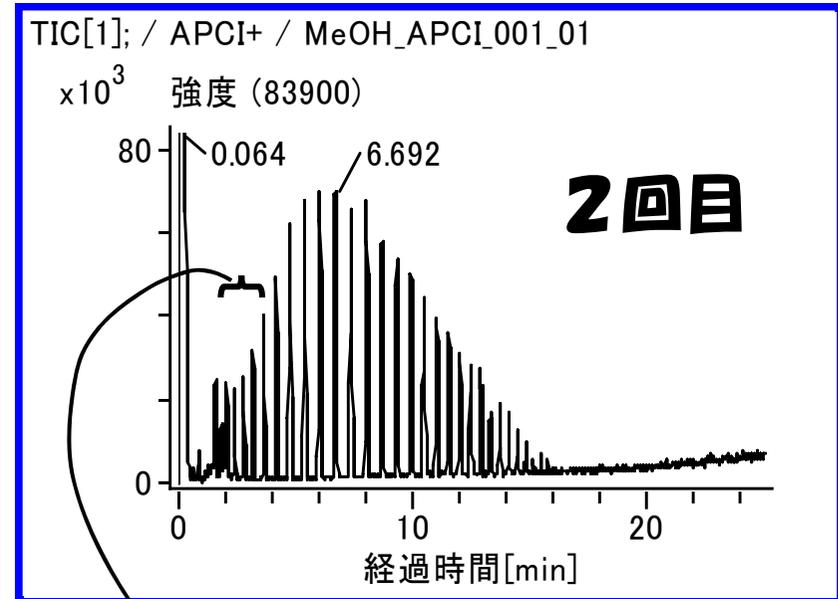
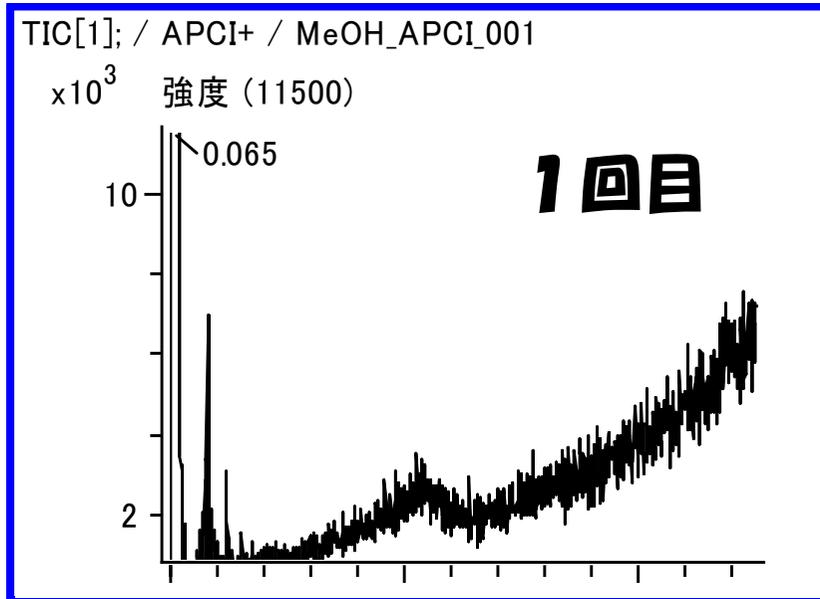
強度(14.000)



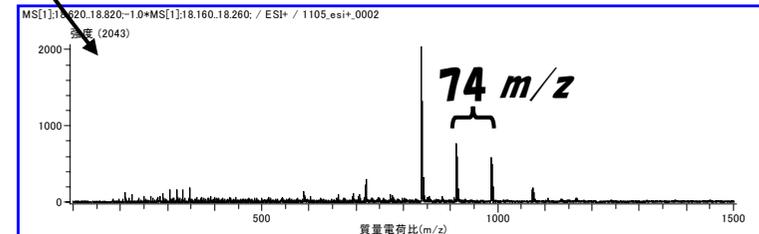
測定準備

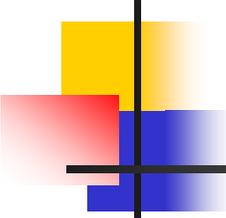
セフトラムキャップからの溶出物に注意！

バイアルにメタノールを注入、セフトラムキャップをして、メタノールを2回続けて測定



1回目の注入時にセフトラムの破片がバイアルに落ち、ポリメチルシロキサンが溶出したと考えられる。





移動相溶媒

- 通常のHPLCで良く用いられるリン酸バッファーなどの不揮発性緩衝液は、**ニードルなどの目詰まり, 塩析出に伴う感度低下, イオン化阻害**などの理由からLC/MSIには適さない。
- 有機溶媒に関しても、イオン源の種類(ESIかAPCIか)によっては、**シグナルが安定しない, 感度が悪い**などの理由から使用が推奨されない溶媒もある。

推奨される緩衝液

- **酢酸・ギ酸(0.1%)**: LC/MSで最も汎用的に使用される。緩衝液としてよい、正イオン測定におけるフロントナーとして用いられる。
- **酢酸アンモニウム(10mM)**: 酢酸・ギ酸と共にLC-MSでは最もポピュラーな緩衝液。酸性物質に弱いイオンペアー効果を示す。
- **TFA (0.1%以下)**: ペプチドなどアミン系化合物に適する。酸性度が高すぎるために負イオン測定には適さない。正イオン測定においても若干の感度低下を招くことがある。まれに負イオン測定でTFA付加イオンとして良いデータを与えることがある。
- **PFBA (0.1%以下)**: TFAではODSに保持され難い、親水性の高いアミン系化合物の分析に有効である。オクタンシルホン酸の代わりになる。
- **ジブチルアミン酢酸(5mM)**: カルボン酸やシルホン酸系化合物のイオンペアー試薬として使用できる。
- **トリエチルアミン酢酸(5mM)**: ジブチルアミン酢酸と同様に使用される。N-Hを持たないために、LCラインやイオン源内にコンタミし難い。

推奨される有機溶媒

- **メタノール**: アセトニトリルと比較してカラム圧が高い。負イオン測定に適している。正イオンESI測定に用いると、 $[M+Na]^+$ イオンが観測され易い。
- **アセトニトリル**: メタノールよりも若干溶出力が高い。正イオンESI測定に用いると、 $[M+NH_4]^+$ イオンが観測され易い。
- **エタノール**: アセトニトリルよりも更に溶出力が高いが、カラム圧が非常に高くなる。
- **アセトン**: 溶出力が高く、水にも溶けやすいので、疎水性の高い化合物のODSカラムでの分析に適している。
- **THF**: アセトンと同様に溶出力が高い。バックグラウンドイオンが多く生成され、試料のイオン化に悪影響を与えることがあるので注意が必要。
- **クロロホルム**: 溶出力が高く、水にほとんど溶けない。アセトニトリル100%の系でもODSカラムに吸着する様な疎水性の高い化合物の分析に用いる。

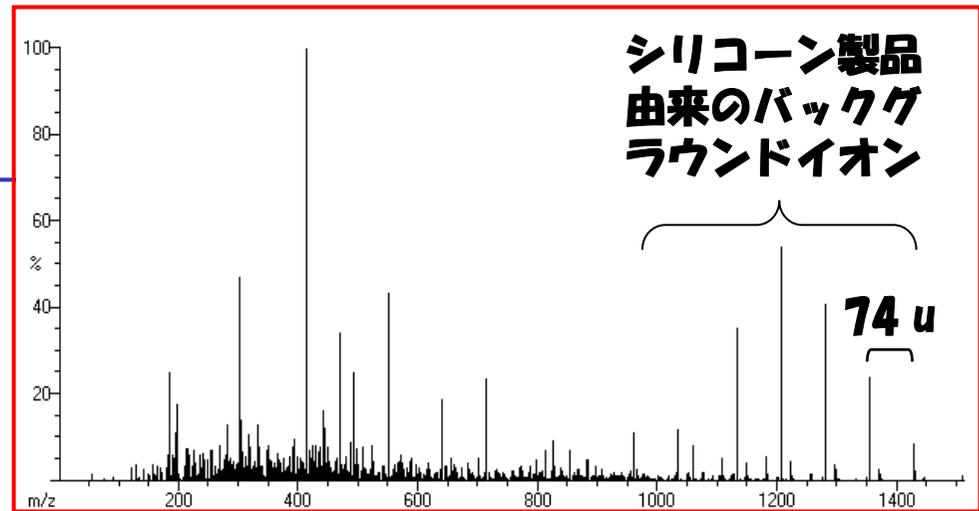
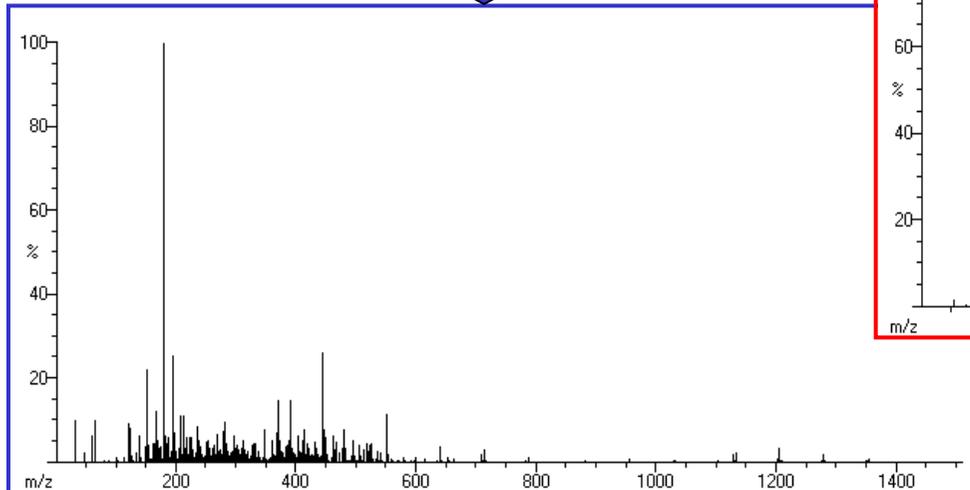
移動相溶媒と生成し易い付加イオン

イオン化法	極性	移動相溶媒	生成し易い付加イオン
ESI	+	メタノール	$[M + H]^+$, $[M + NH_4]^+$, $[M + Na]^+$, $[M + K]^+$
	+	アセトニトリル	$[M + H]^+$, $[M + NH_4]^+$, $[M + Na]^+$, $[M + K]^+$
	+	含酢酸アンモニウム	$[M + H]^+$, $[M + NH_4]^+$
	+	含トリエチルアミンなど	$[M + H]^+$, $[M + H + N(CH_2CH_3)_3]^+$
APCI	+	メタノール	$[M + H]^+$, $[M + H + CH_3OH]^+$
	+	アセトニトリル	$[M + H]^+$, $[M + H + CH_3CN]^+$
	+	含酢酸アンモニウム	$[M + H]^+$, $[M + NH_4]^+$
	+	含トリエチルアミンなど	$[M + H]^+$, $[M + H + N(CH_2CH_3)_3]^+$
ESI	-	酸を含まない系	$[M - H]^-$, $[M + Cl]^-$
	-	含酢酸, 酢酸アンモニウムなど	$[M - H]^-$, $[M + CH_3COO]^-$
	-	含ギ酸	$[M - H]^-$, $[M + HCOO]^-$
	-	含トリフロロ酢酸	$[M - H]^-$, $[M + CF_3COO]^-$
APCI	-	酸を含まない系	$[M - H]^-$, $[M + Cl]^-$
	-	含酢酸, 酢酸アンモニウム	$[M - H]^-$, $[M + CH_3COO]^-$
	-	含ギ酸	$[M - H]^-$, $[M + HCOO]^-$
	-	含トリフロロ酢酸	$[M - H]^-$, $[M + CF_3COO]^-$

ポンプからのバックグラウンド

➤ 新品のLCポンプと使い込まれたLCポンプにメタノールを通液した時に観測されたバックグラウンドスペクトル例

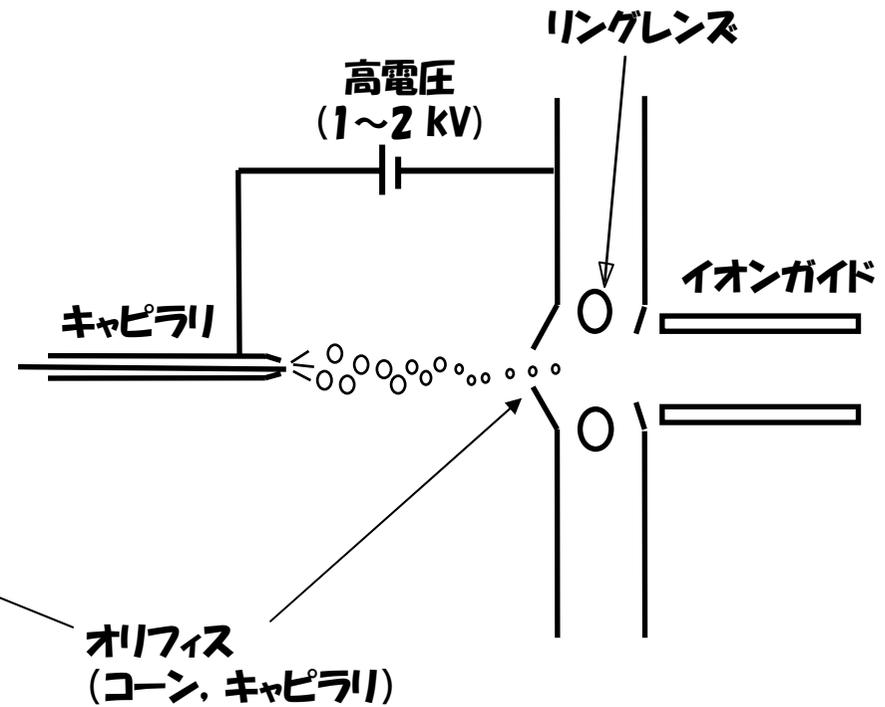
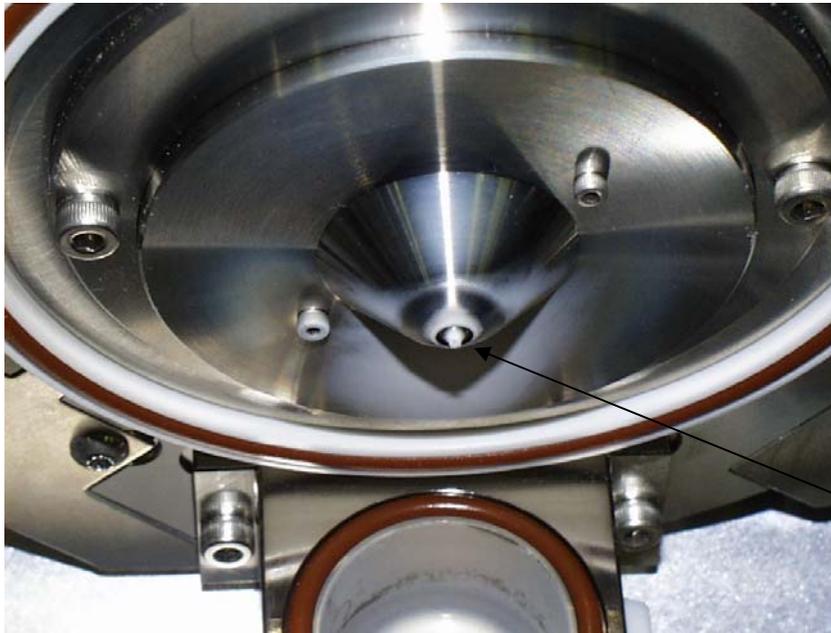
使い込まれたポンプ



新品のポンプ

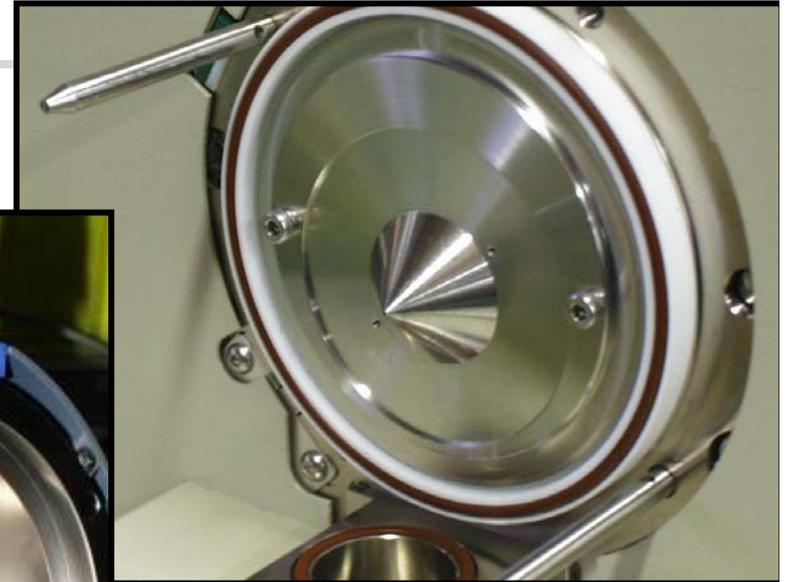
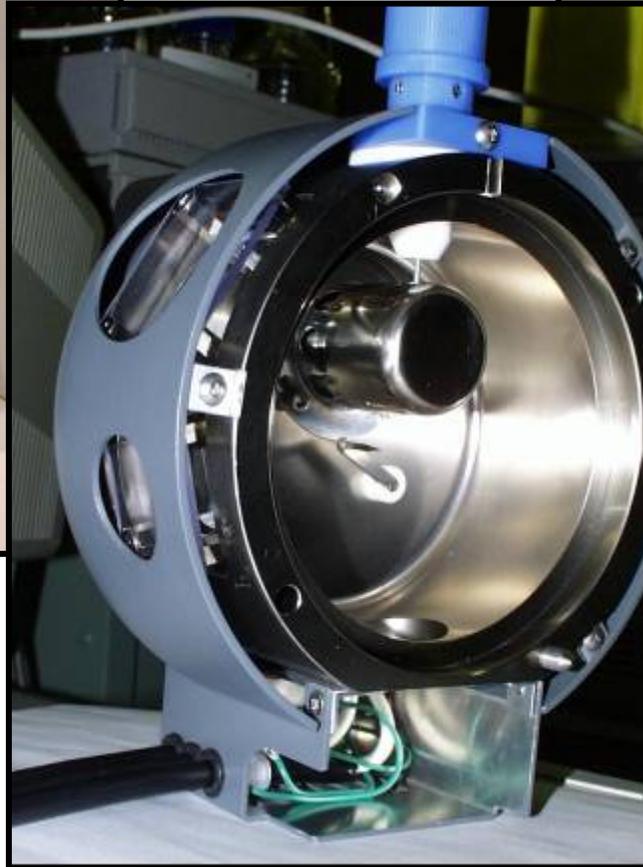
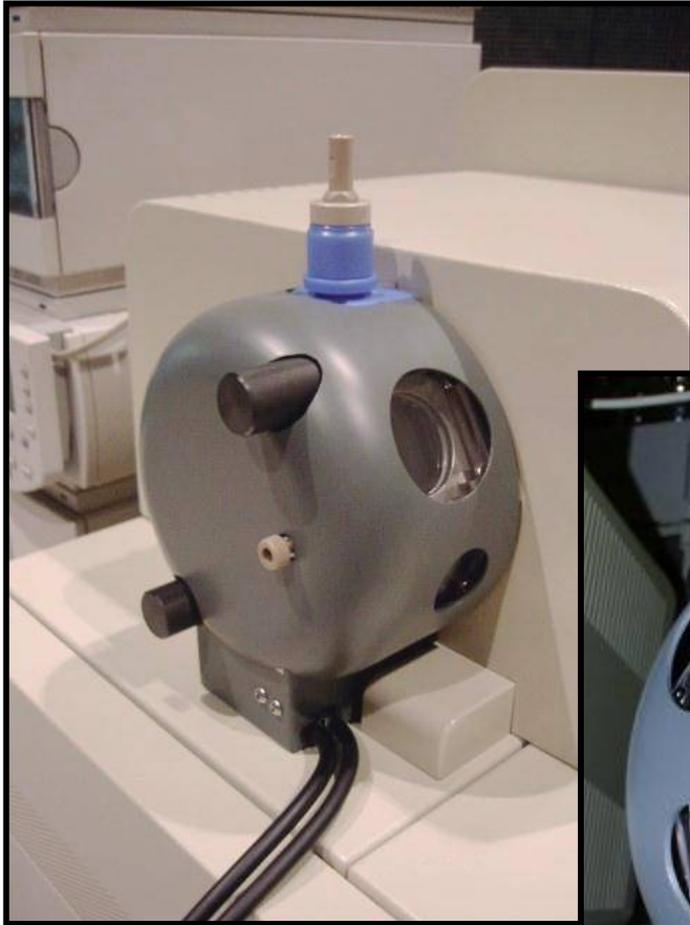
イオン源の汚れと感度低下

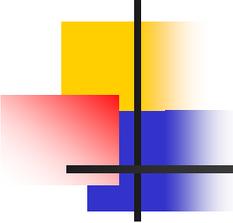
↳ オリフィス



オリフィスの汚染⇒イオン取り込み効率の低下⇒感度低下

APIイオン源の構造





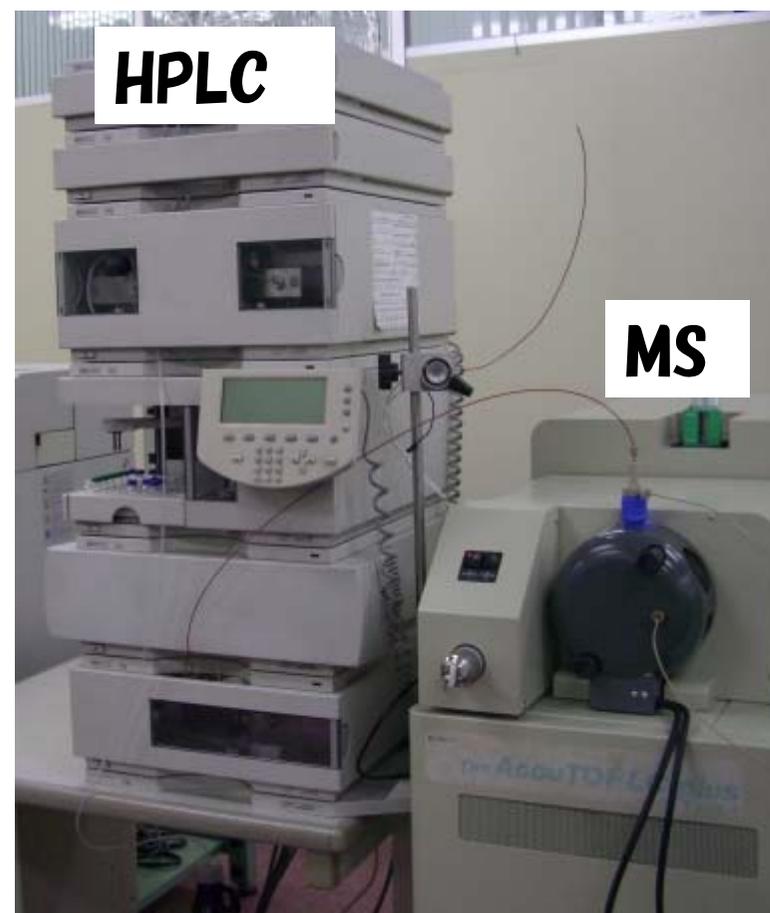
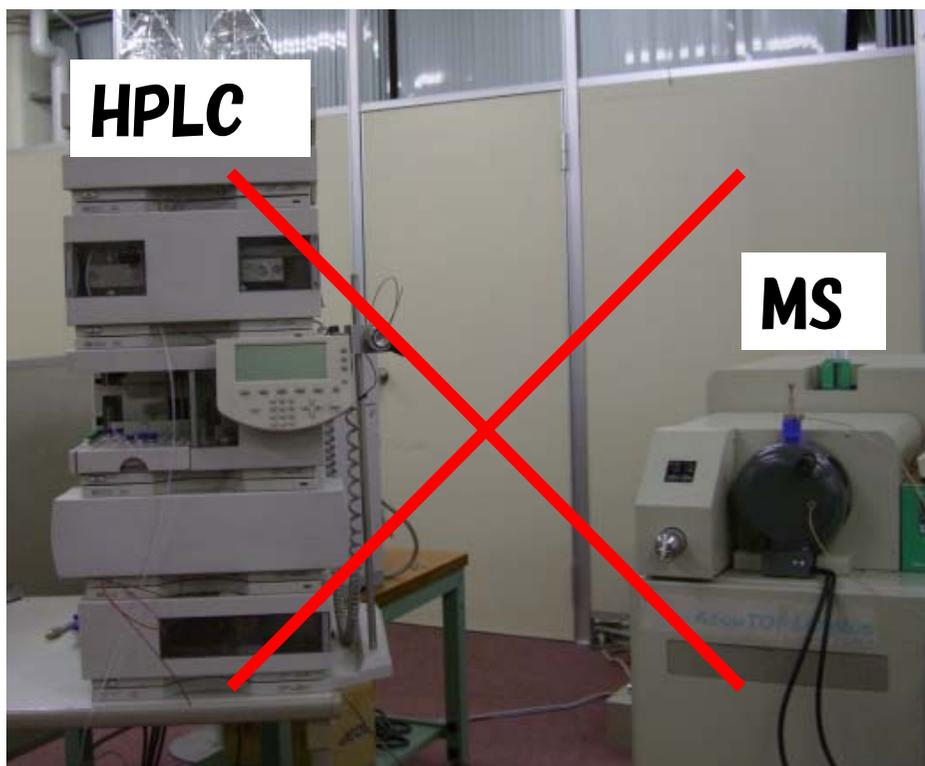
LCとMSの接続

- カラム出口からイオン源入り口までのデッドボリュームが出来るだけ小さくなるように、配管や接続部などに気を配る。
- 特にUV検出器とイオン源を直列で接続する場合、UVセルの容量が重要。
- セミマイクロLCを使用する場合、配管内径0.1~0.2 mm、ゼロデッドユニオン、マイクロフローセルを使用する。

装置の設置



LCとMSは、可能な限り近くに配置する。



配管の接続



必要以上に長い配管や内径の大きな配管は使用しない。



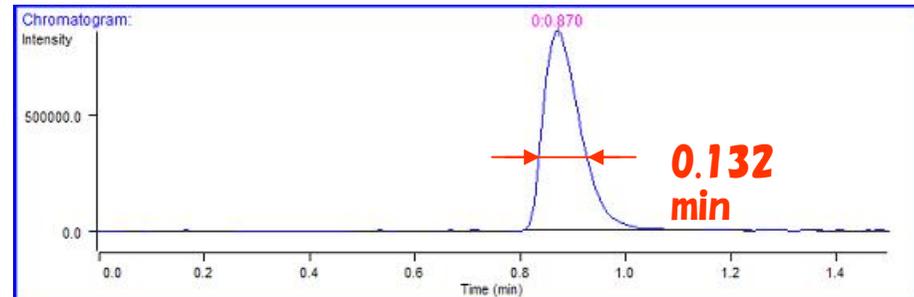
カラム・イオン源までは、配管内ボリュームが最小になるよう接続する。

カラム・イオン源までの配管

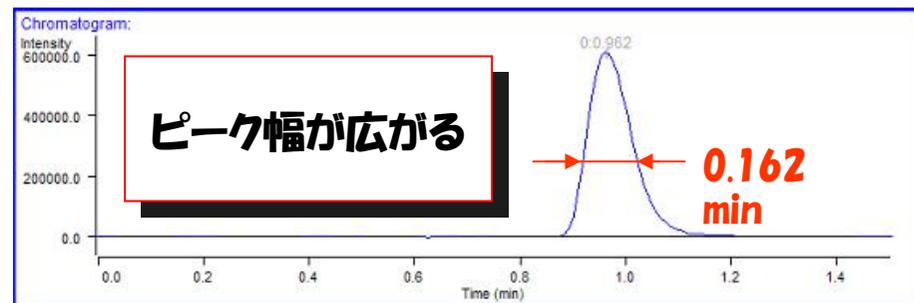


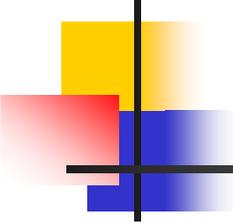
※スプレーヤーに高電圧を印加するタイプの装置では、感電の恐れがあるため、金属の配管は使用しない。

A) 50 mm



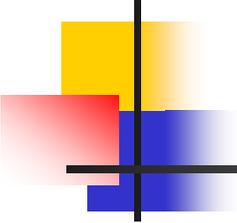
B) 1000 mm





参考資料

- マススペクトロメトリーってなあに
(質量分析学会編、国際文献印刷社)
- これならわかるマススペクトロメトリー
(化学同人)
- マススペクトロメトリー関連用語集
(web版 : <http://www.mssj/index-jp.html>)
- 液クロ龍、彪、犬、武、文の巻
(液クロ研究懇談会編、丸善)
- 液クロ実験 How to マニュアル
(液クロ研究懇談会編、みみずく舎)



おわりに

- **ご質問は以下まで！！**

✧ **E-mail: tyutaka@jeol.co.jp,**