レーザー共鳴イオン化を用いた希ガス不純物の安定的な除去に関する研究

日本原子力研究開発機構　岩田 圭弘
東京大学宇宙線研究所　関谷 洋之

共同利用研究経費：　旅費8万円（大洗⇔神岡）

平成26年度 東京大学宇宙線研究所 共同利用研究成果発表会
東京大学柏キャンパス　2014/12/12（金）

Outline

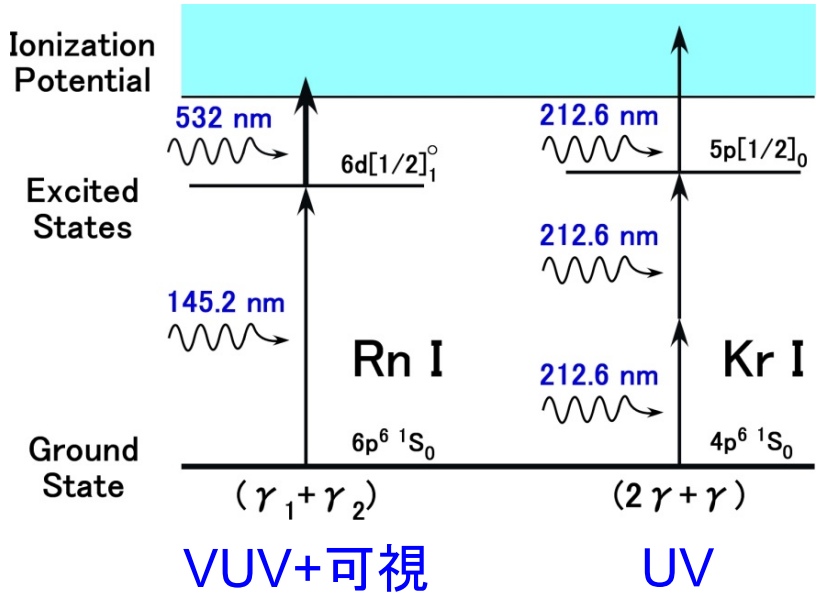
- **Xeを用いた暗黒物質探索におけるRn, Kr不純物**
  - ＊ レーザー共鳴イオン化 を用いた Rn除去、Kr測定
- **（1）空気中Rnを用いた共鳴イオン化観測（現状）**
  - ＊ 真空紫外 + 可視レーザー による（$\gamma_1+\gamma_2$）イオン化
  - ＊ 質量数 A=222 領域のTOF spectrum
- **（2）Xe中 ~ppt level Kr測定への適用性評価**
  - ＊ 紫外レーザー による（2γ+γ）イオン化
  - ＊ Ar中の~ppt level Kr 測定 ⇒ Xe中Krへの適用性
- **まとめ、今後の予定**

Xeを用いた暗黒物質探索における不純物 Rn除去、Kr濃度測定

- ^{222}Rn：最大の内部BG、Xe循環で除去
  ^{85}Kr：^{85}Kr/Kr~10^{-11} ⇒ ~ppt of Kr
- Rn：冷却活性炭は、同族のXeも吸着
  Kr：API-MS前段に GCによるKr濃縮
  - API-MS：大気圧イオン化質量分析、IP大→小に電荷交換
  - GC：ガスクロマトグラフィー
- 狭線幅のパルスレーザーで
  Rn or Kr のみ共鳴イオン化
  - Rn：^{222}Rn^{+}を電場ドリフトし除去
  - Kr：^{84}Kr^{+}をTOF-MSで検出

XMASSの数keV領域におけるBG源

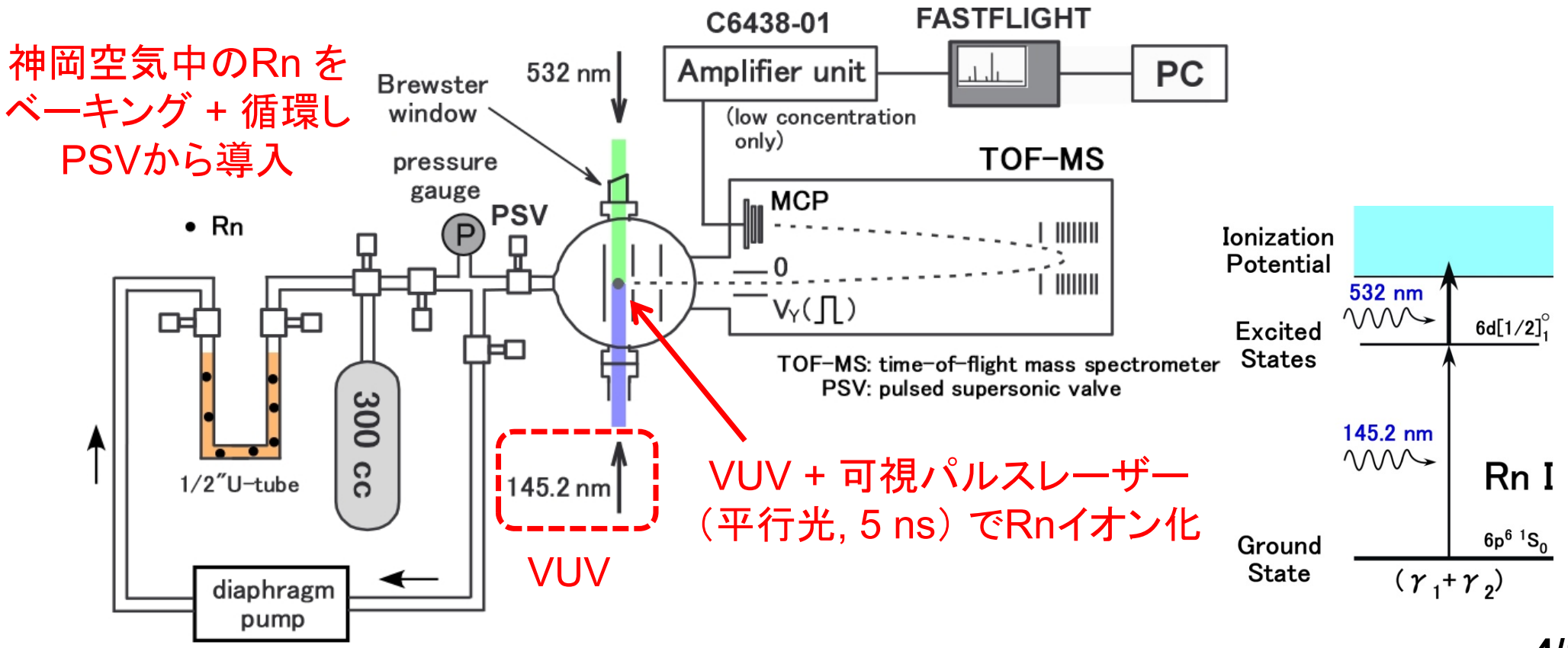
BG発生源		BGレベル [cts/day/kg/keV]
$\beta\cdot\gamma$	外周由来	$< 10^{-5}$
	^{85}Kr（Kr < 1 ppt）	$< 10^{-5}$
	^{222}Rn（~8 mBq）	$\sim 10^{-4}$
環境中性子		$< 10^{-6}$



（1）空気中 Rn を用いた共鳴イオン化観測（現状）

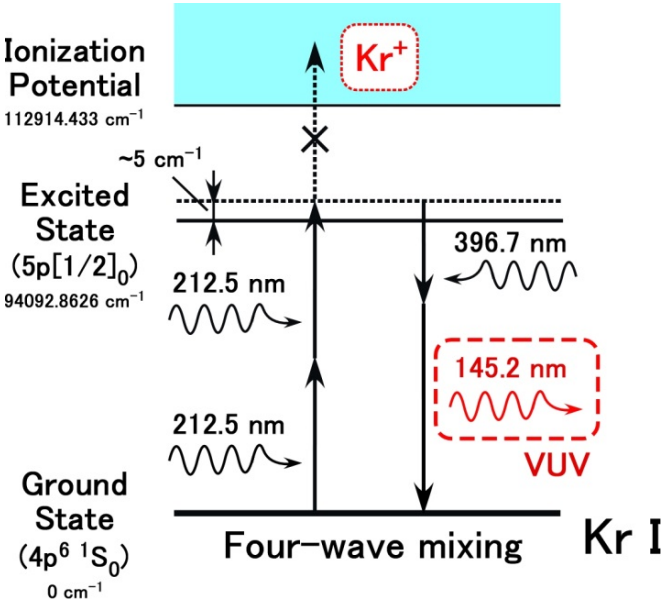
Rn測定セットアップ（試料導入、検出）

- 神岡空気中のRn共鳴イオン化 + TOF質量分析
- 活性炭冷却（－80℃）でRn濃縮、250℃でRn放出
- 超音速分子線バルブ（PSV）から導入し、MCPで検出

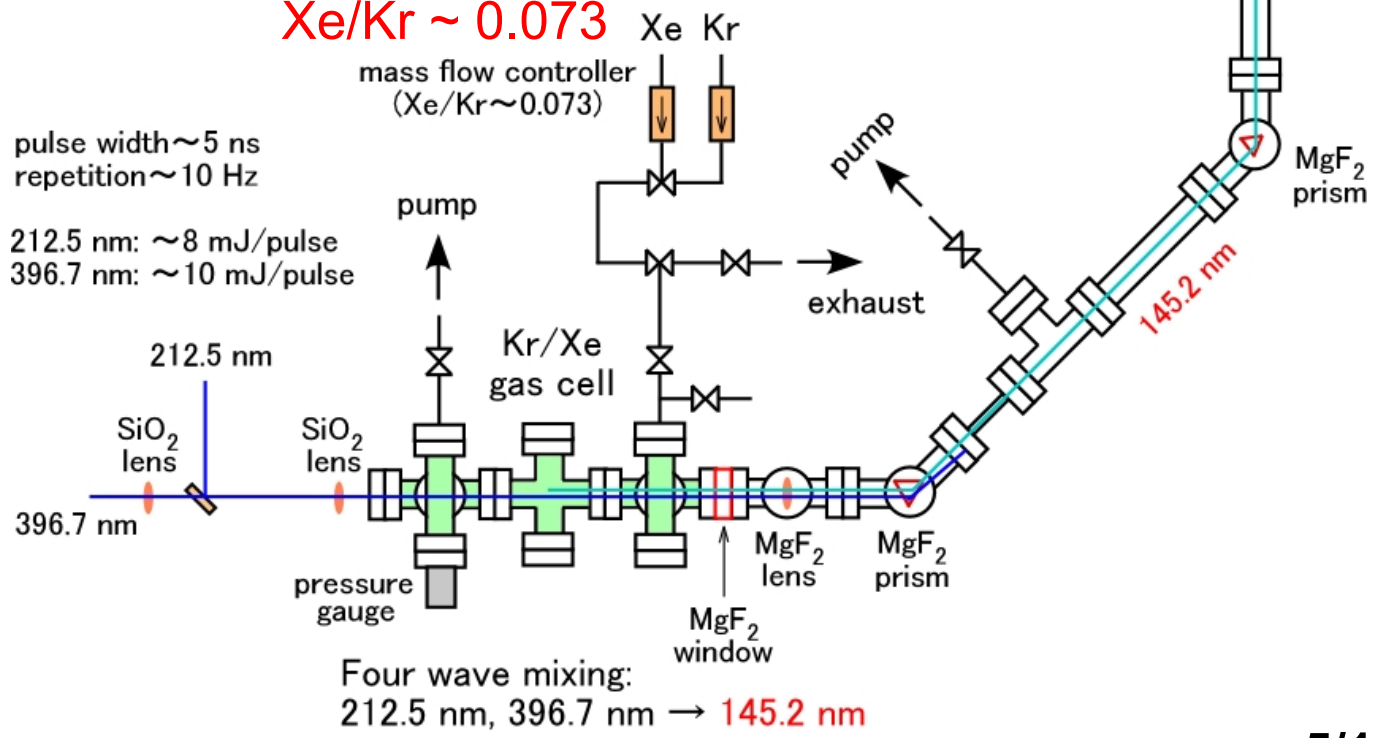


Rn測定セットアップ（VUVレーザー）

- 共鳴四波混合による真空紫外（VUV）光生成
- Xe混合（Xe/Kr~0.073）による位相整合
  ⇒ VUV ~ 10 μJ/p （MgF_2 prism×2 後）
- MgF_2 prism で VUV光を分離＆反射、TOF導入

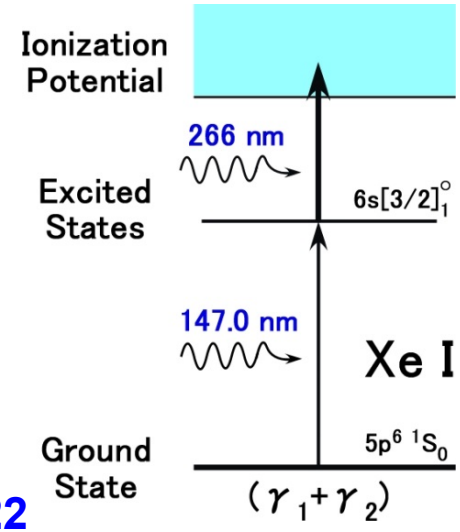


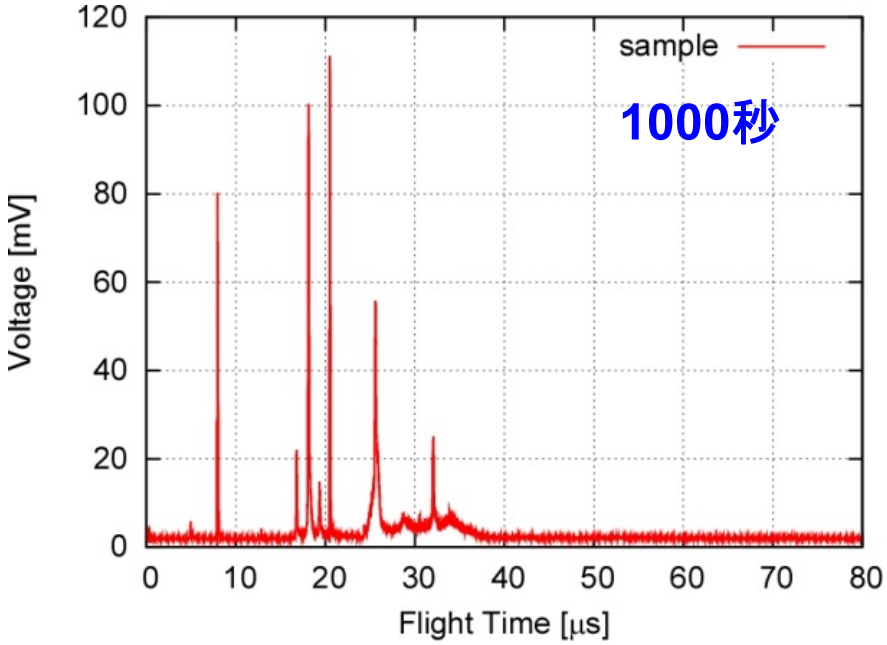
Krガスセルを用いた
共鳴四波混合



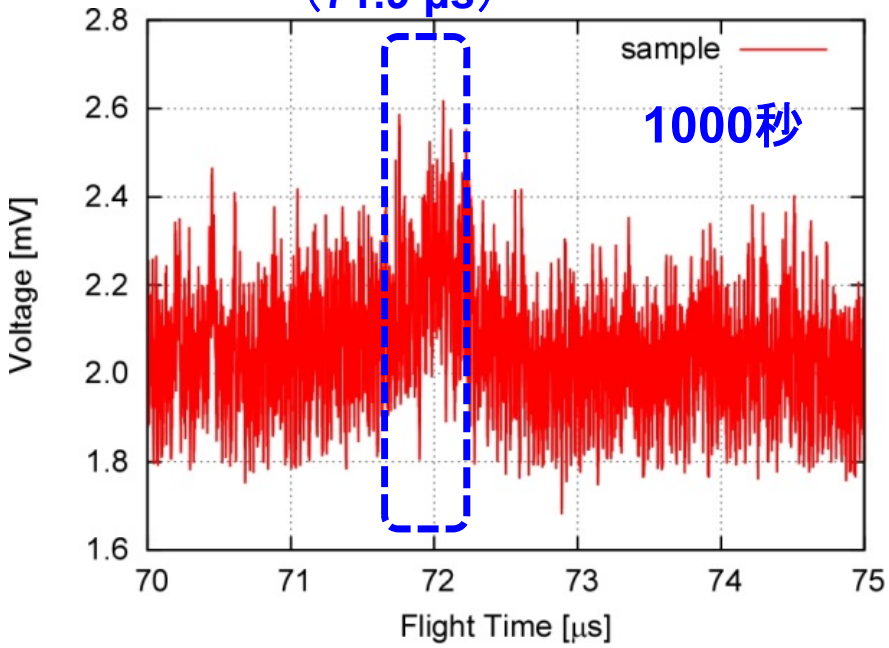
Rn共鳴イオン化の測定結果

- A = 222 領域にピーク ⇒ Rn^+ ?
- Xe: 147.0 nm + 266 nm イオン化で
  - レーザー2本の空間・時間的overlap
  - VUV波長は、ほぼ計算どおり





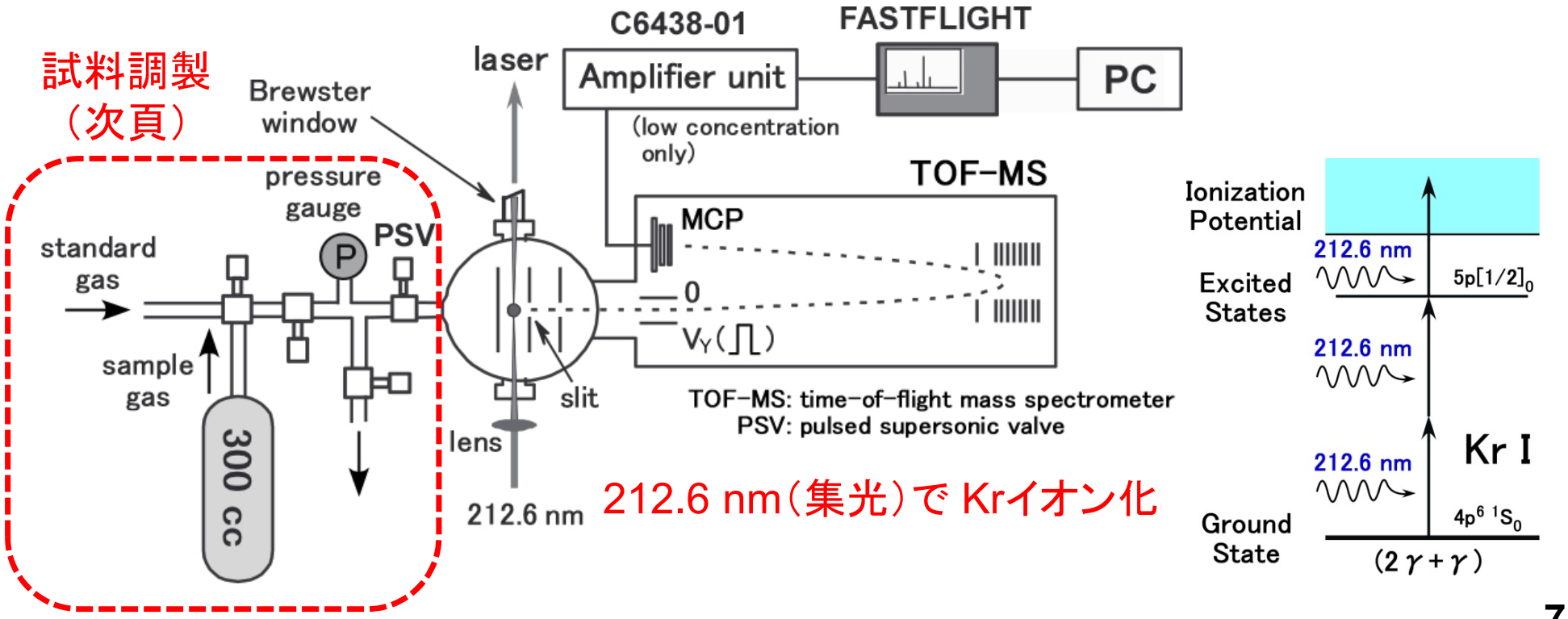
A = 222
（71.9 μs）



（2）Xe中 ~ppt level Kr 測定への適用性評価

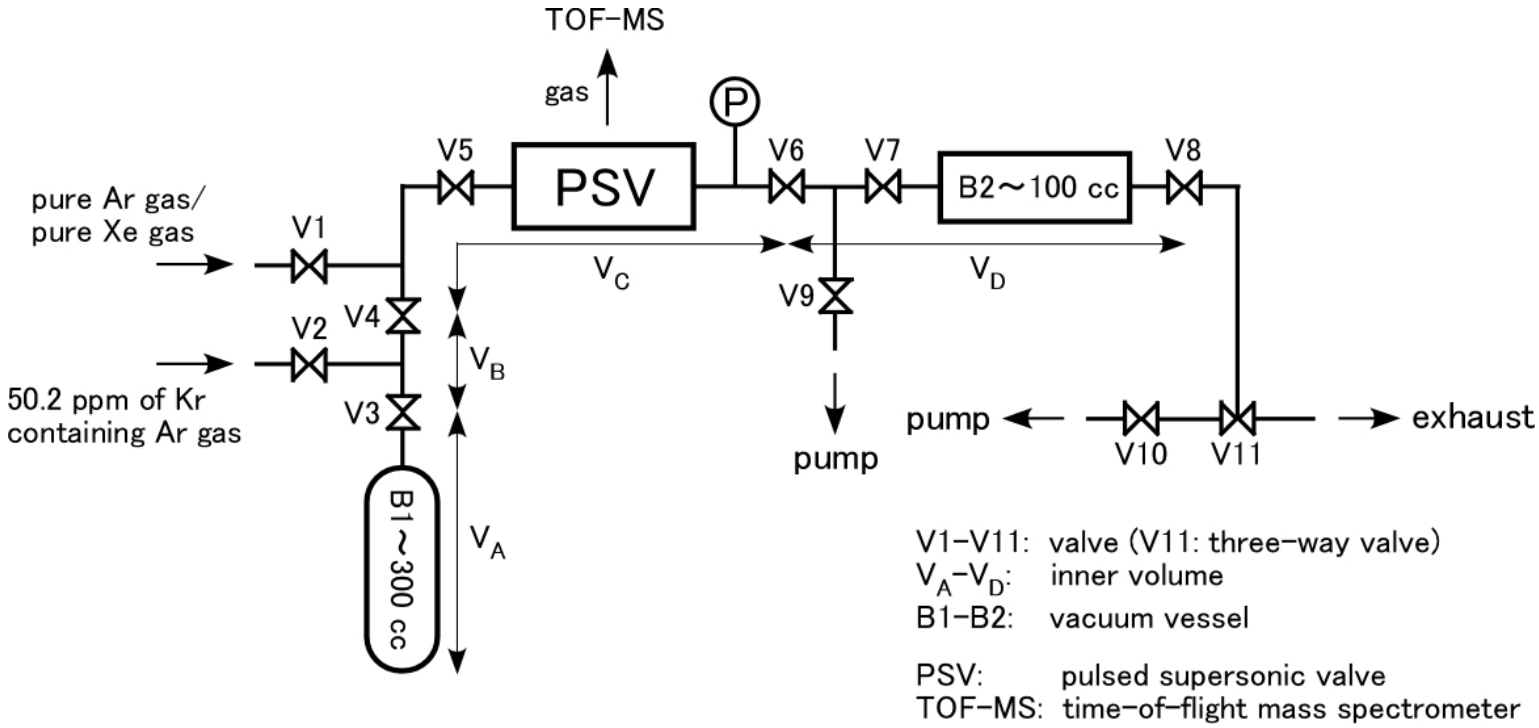
Kr測定セットアップ（TOF-MS）

- 市販 pure Xe に不純物Kr～10 ppb ⇒ Ar中Krから推定
- 100-400 ppb Kr 含有 Xe, Ar ガスを測定し、主成分Xe, Arにおけ るKr検出感度を比較 （次頁に試料調製の概要）
- ~ppt level Kr 含有 Ar ガス ⇒ 主成分Xeの場合を評価



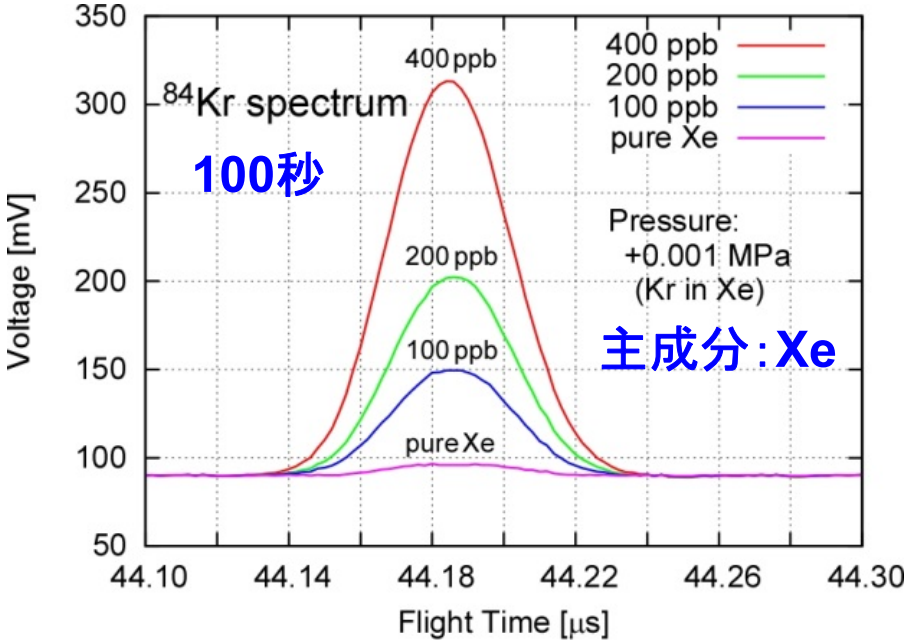
試料調製（100-400 ppb Kr in Xe, Ar）

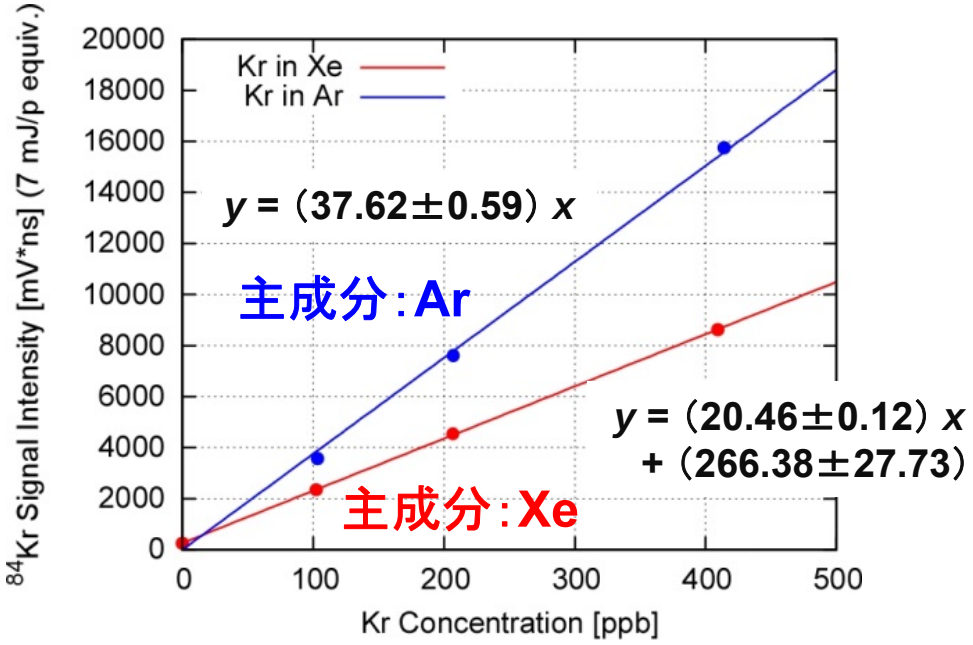
- 系全体を真空引き後、V_A に 50 ppm ガスを少量供給
- ~4 atm の高圧 pure Xe or Ar を供給し、V_A 内で混合（50 ppm ガスは殆ど逆流しない）
- V_B-V_D 真空引き後、混合ガスを拡散させて ~1 atm に



主成分Xe, Ar におけるKr検出感度比較

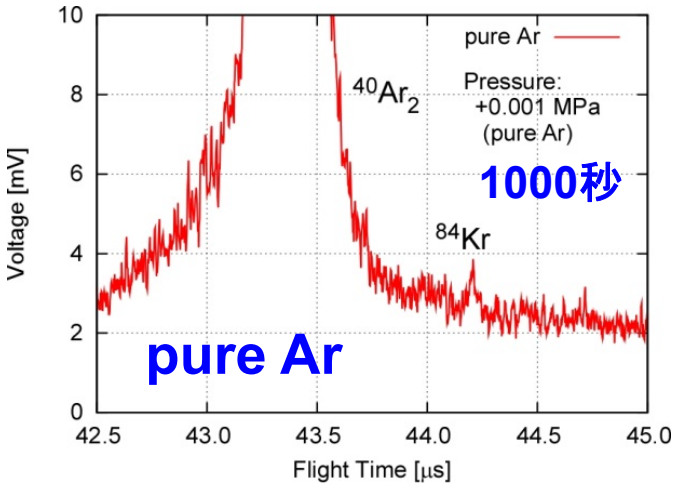
- 主成分Xe, Ar 各100秒測定、ピーク電圧は濃度に比例
- ^{84}Kr: TOF = 44.1-44.3 μs 積分値、透過光出力で補正
- 濃度 vs. 信号量の傾きから、主成分XeのKr検出感度は主成分Arの**約1/2** ⇒ PSVからの導入ガス拡がり

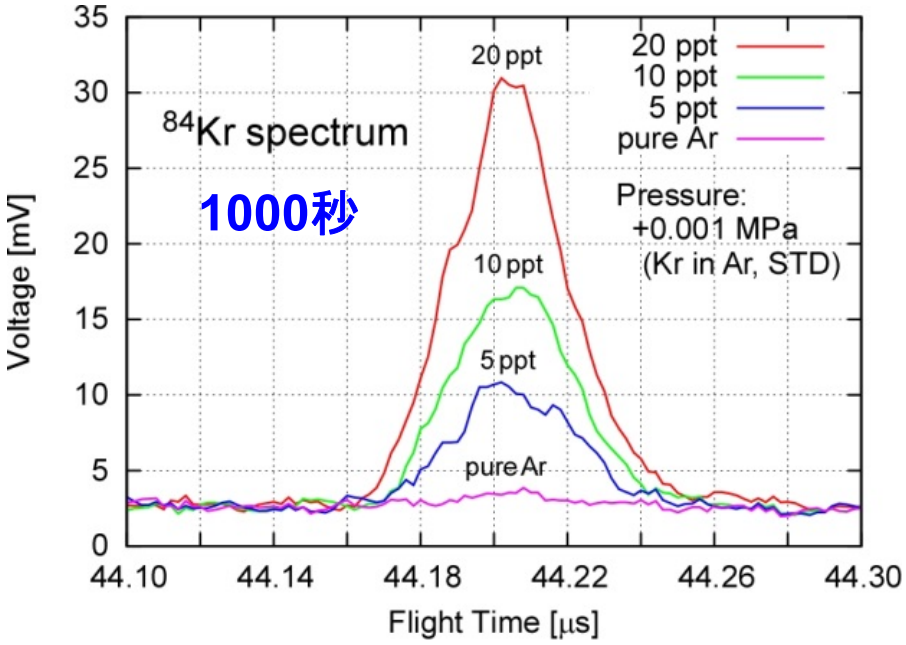


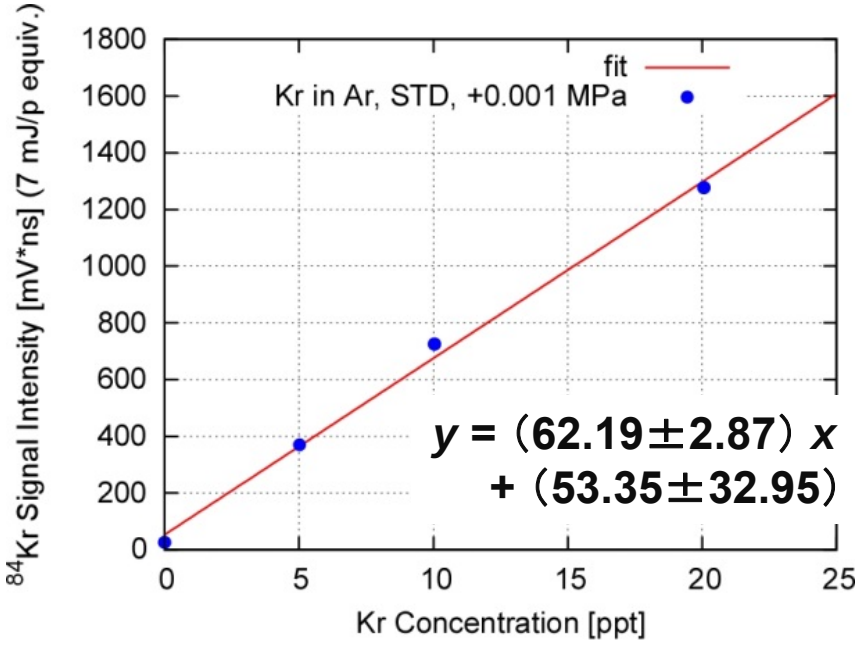


Ar 中 ~ppt level Kr測定

- MFCで Kr濃度5-20 ppt に調製
- pure Ar 中の Kr ≲ 1 ppt を観測
- 二量体BGは、Xe中Krでは影響なし
- 主成分Xeでも、~1 ppt 領域観測可







Summary and future plans

- **レーザー共鳴イオン化を用いた Rn除去、Kr測定**
- **（1）空気中Rnを用いた共鳴イオン化観測（現状）**
  - ＊ VUV + 可視レーザーを平行光でTOF-MSに導入
  - ＊ A = 222 にピーク、Xeイオン化を参考に光軸を最適化
- **（2）Xe中 ~ppt level Kr測定への適用性評価**
  - ＊ 主成分XeのKr検出感度は、主成分Arの約1/2
  - ＊ Ar中の≲1 ppt Kr を測定 ⇒ Xe中 ~ppt level 観測可
- **今後の予定**
  - ＊ Rn: 電場ドリフトの設計、Kr: XMASS への適用