

SPring-8における少数バンチ利用研究への期待

東北大学多元物質科学研究所

上田 潔

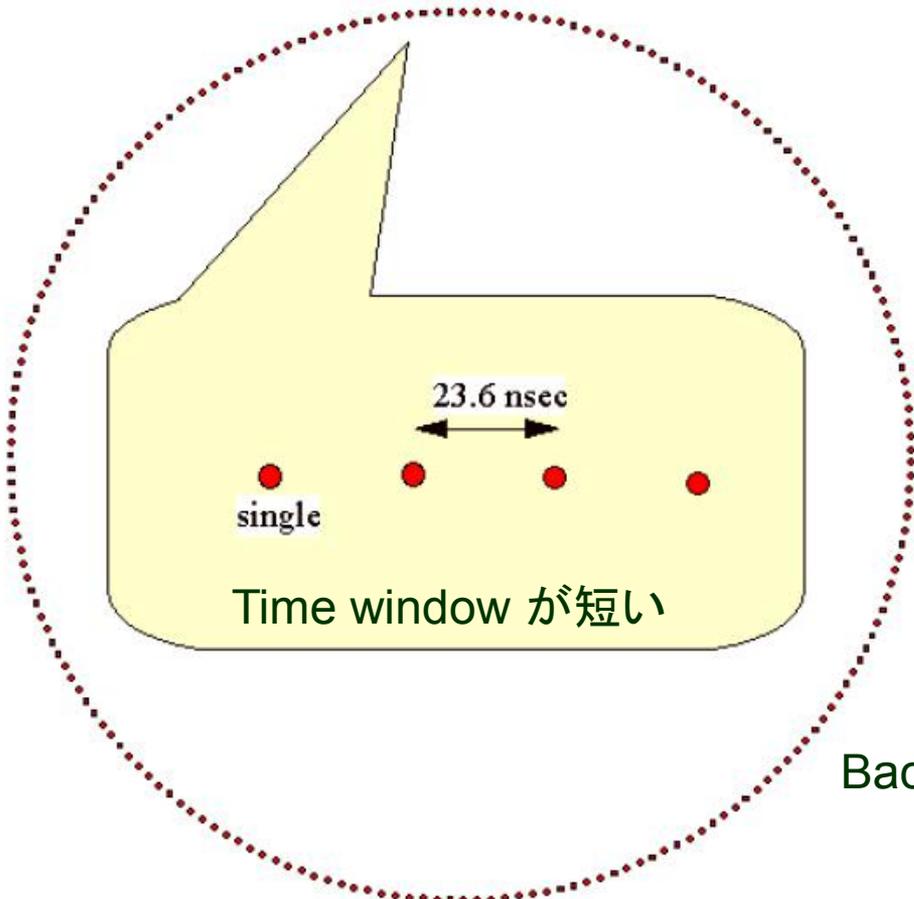
アウトライン

1. SPring-8 の少数バンチ (期待と現実の隔たり)
2. SPring-8 の少数バンチでうまくいっている実験例
3. SPring-8 の少数均等バンチで向上が見込まれる実験例
4. SPring-8 の少数均等バンチで初めて可能になる実験例

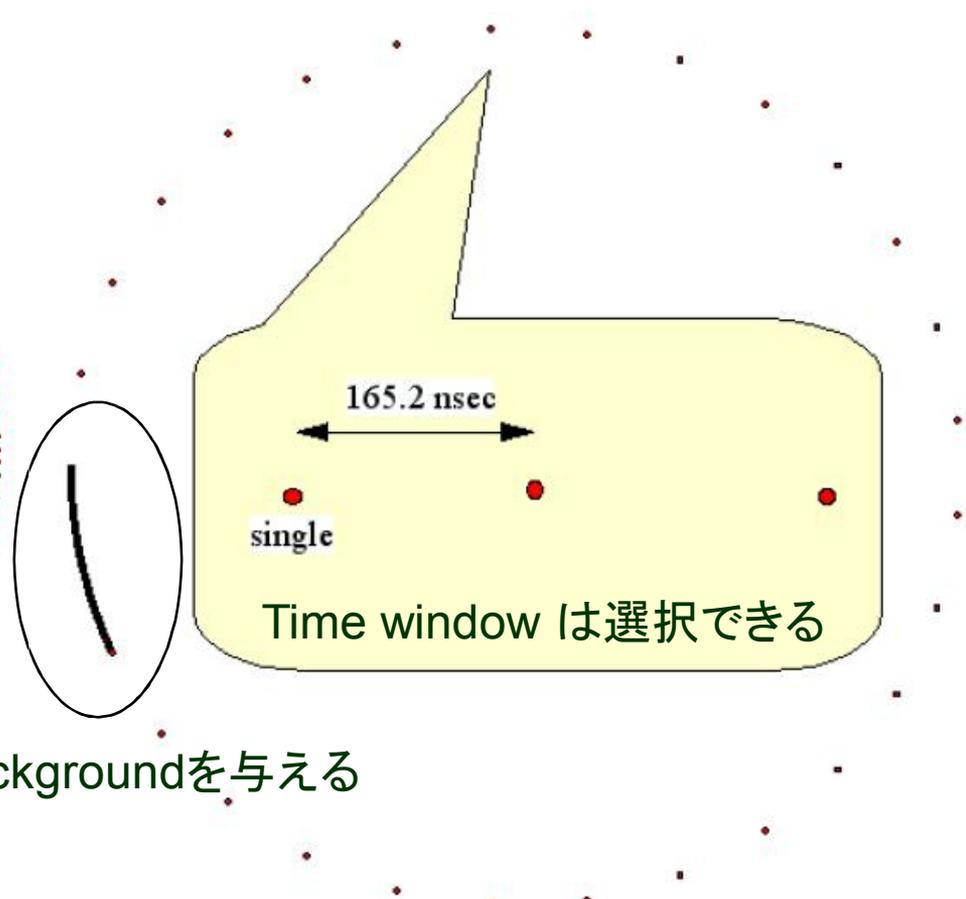
SPring-8 の少数バンチ (期待と現実の隔たり)

均等バンチ

複合バンチ



203 bunches



2/29-filling + 26 bunches

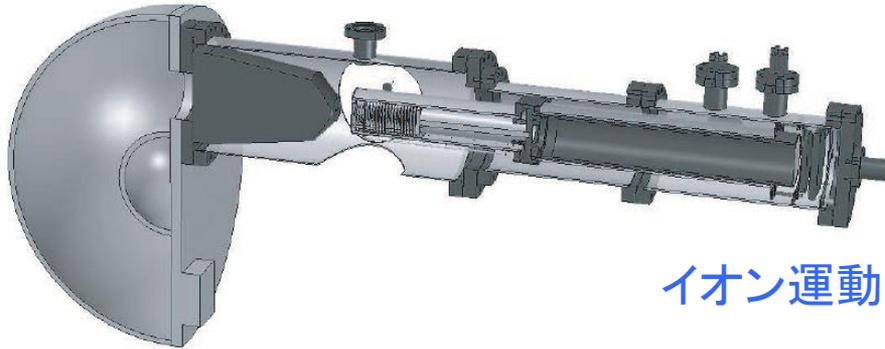
SPring-8 の少数バンチでうまくいっている実験例

分子座標系におけるオージェ電子角度分解分光

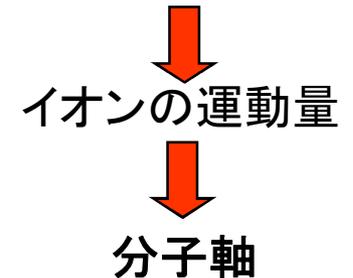
目的: 分子・クラスターの脱励起ダイナミクスを探索

手法: オージェ電子・イオン運動量同時計測分光

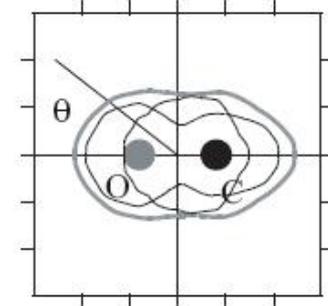
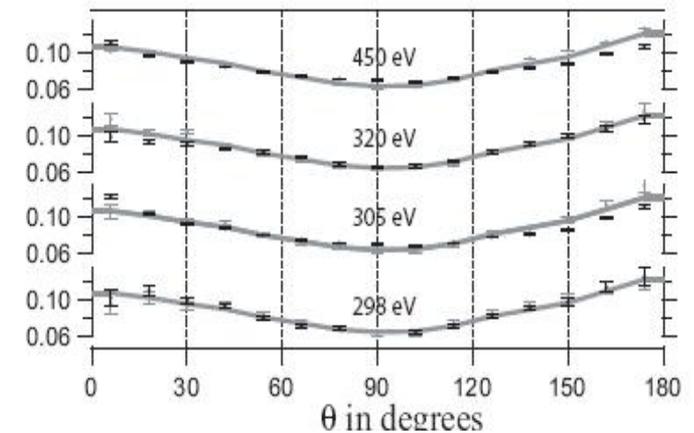
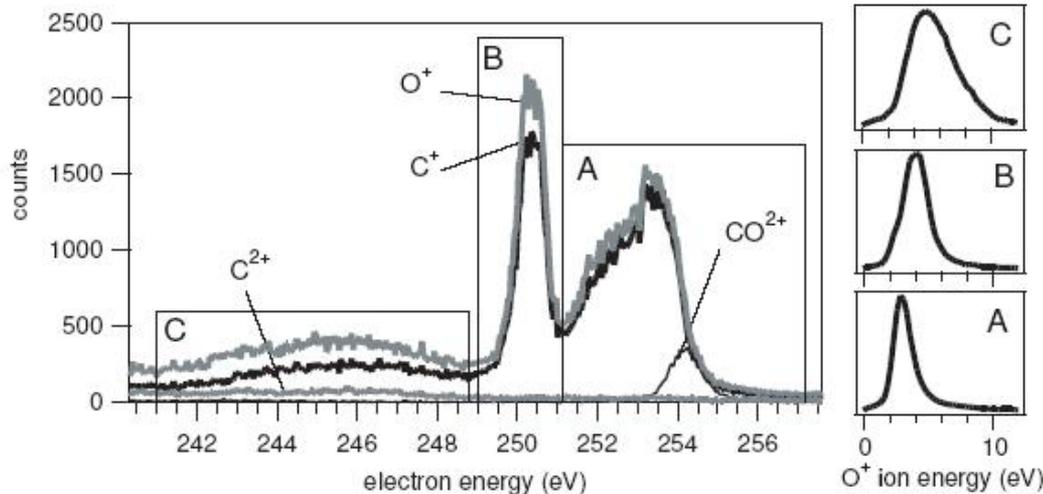
イオン飛行時間・検出位置



イオン運動量計



オージェ電子エネルギー分析器



G. Prümper et al. Phys. Rev. Lett. (in press).

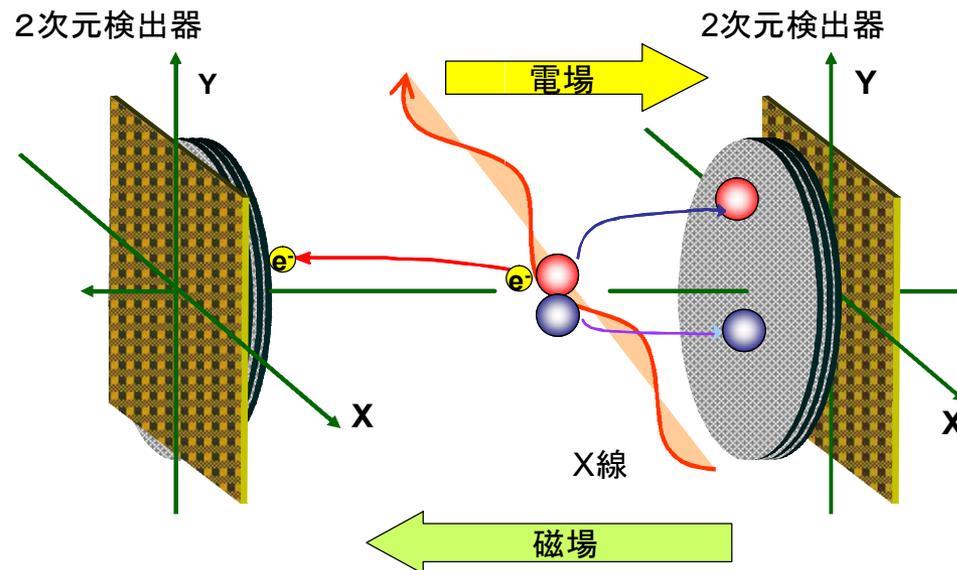
SPring-8 の少数均等バンチで見込まれる実験例

多重同時計測による原子分子の多重電離ダイナミクス

目的: 分子・クラスターのイオン化・脱励起ダイナミクスを探索

手法: 電子・イオン同時運動量分光法

⇒ 放出される全電子・全イオンの運動エネルギーに関する観測



飛行時間・検出位置



荷電粒子の運動量

多重同時計測



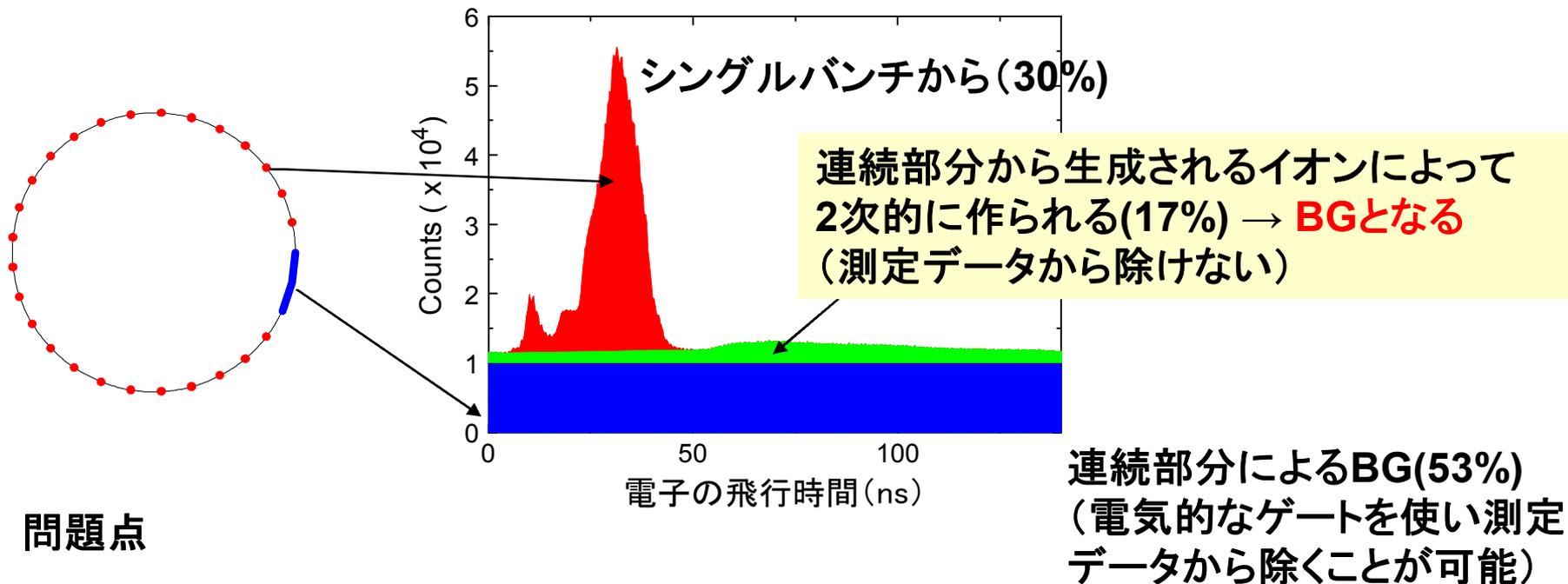
荷電粒子の運動量相関

電子・イオン同時運動量分光法におけるセベラルバンチモードの問題点

2007A 2/29-filling + 26 bunches (1.4 mA)

シングルバンチ = 36.4 %

電子の飛行時間スペクトル



測定データ中36%がバックグラウンド → S/Nが悪い
同時計測のためカウント数の制限があり、無駄なカウントが65%

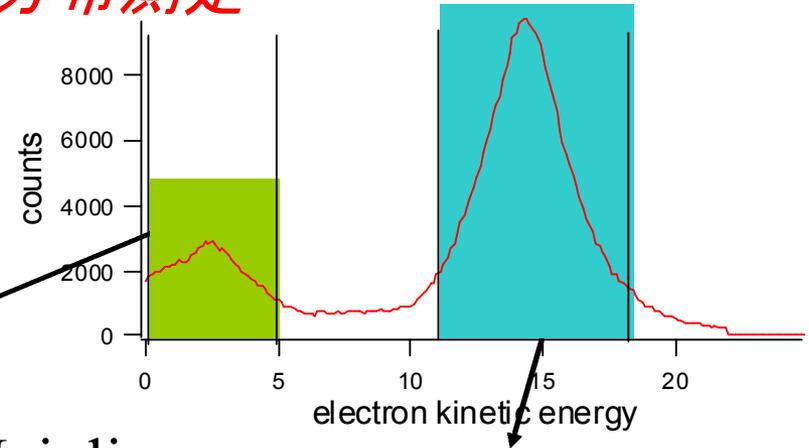
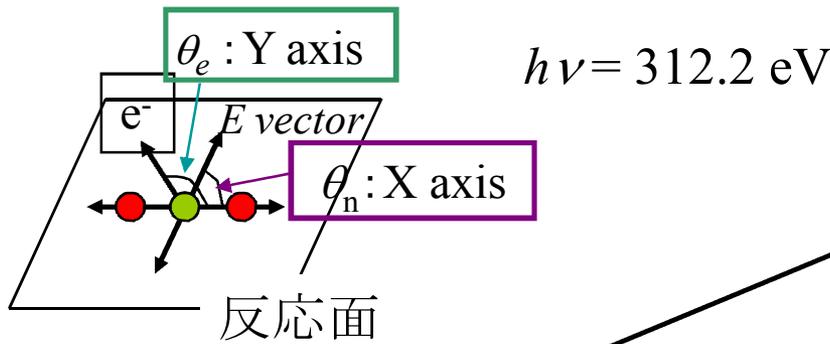
↓
測定に時間がかかる

36mAの29bunchesで実験すると、測定時間が1/3で、データの質(SN)が10倍上昇！

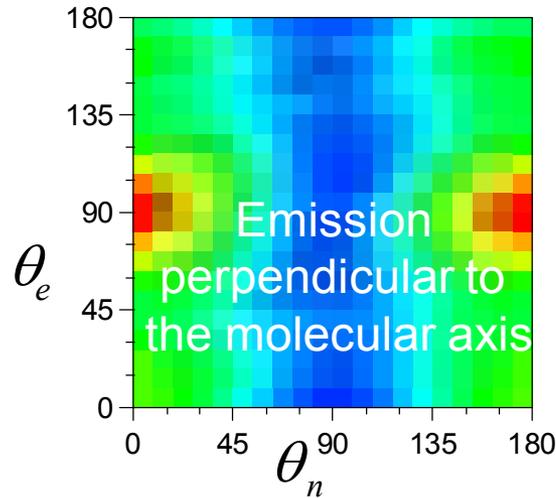
(Electronics を更新すると測定時間がさらに1/3に短縮！)

現時点でSPring-8でできること:
直線分子の分子座標系光電子角度分布測定

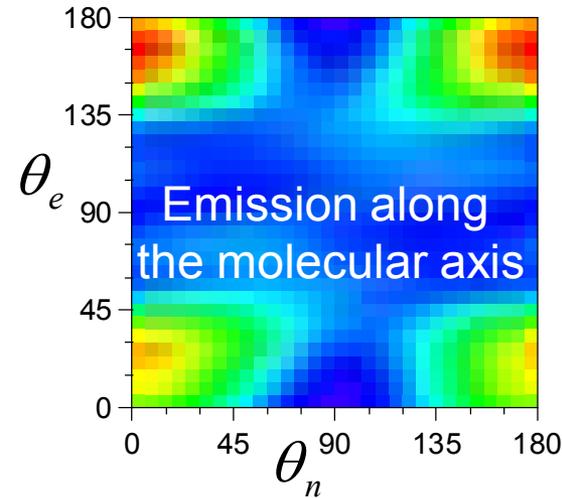
光電子スペクトル



Satellite



Mainline



いずれも、強度が $\theta_n = 90^\circ$ で減少 \rightarrow Σ - Σ 平行遷移
電子の放出方向が異なる \rightarrow 光電子のパリティ (g-u) が異なる

反応面で切るとSNが悪くて使えない...

L.-J. Liu et al. Phys. Rev. Lett. **101**, 023001 (2008).

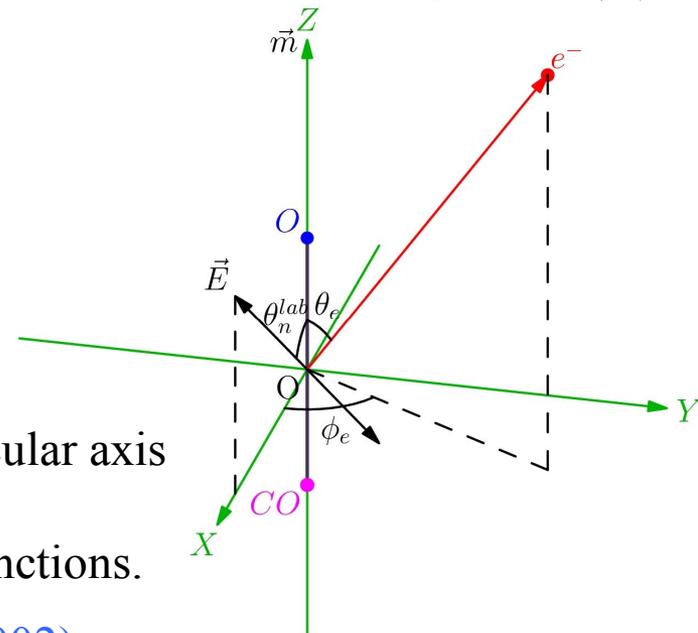
トリック: 直線分子の分子座標系光電子角度分布を求めるためのプロジェクション法

$$\begin{aligned}
 I(\theta_e, \phi_e, \theta_n) &= F_{00}(\theta_e) + F_{20}(\theta_e)P_2^0(\cos\theta_n) \\
 &\quad + F_{21}(\theta_e)P_2^1(\cos\theta_n)\cos\phi_e \\
 &\quad + F_{22}(\theta_e)P_2^2(\cos\theta_n)\cos 2\phi_e \\
 F_{JN}(\theta_e) &= \sum_{J'} C_{J'JN} P_{J'}^N(\cos\theta_e)
 \end{aligned}$$

θ_e, ϕ_e : electron emission direction relative to the molecular axis
 θ_n : angle between the molecular axis and E vector

MFPADs can be completely described by the four F_{JN} functions.

R. R. Lucchese *et al.*, Phys. Rev. A **65**, 020702 (2002).



If all electron and ions ejected in the entire 4p sr are recorded, then four $F_{JN}(\theta_e)$ functions can be extracted from $I(\theta_e, \phi_e, \theta_n)$ using orthogonality of the Legendre polynomials $P_J^N(\cos\theta_n)$

$$\begin{aligned}
 F_{JN}(\theta_e) &= \frac{(2J+1)(J-N)!}{2\pi(1+\delta_{N,0})(J+N)!} \int_0^\pi \sin\theta_n d\theta_n \\
 &\quad \times \int_0^{2\pi} d\phi_e I(\theta_e, \phi_e, \theta_n) P_J^N(\cos\theta_n) \cos(N\phi_e)
 \end{aligned}$$

R. R. Lucchese *et al.*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **155**, 95 (2007).

SPring-8 の少数均等バンチまたはPF単バンチで初めて可能になる実験例

キラル分子の解離の円二色性実験

自然円二色性: 双極子・4重極子干渉 0.01%

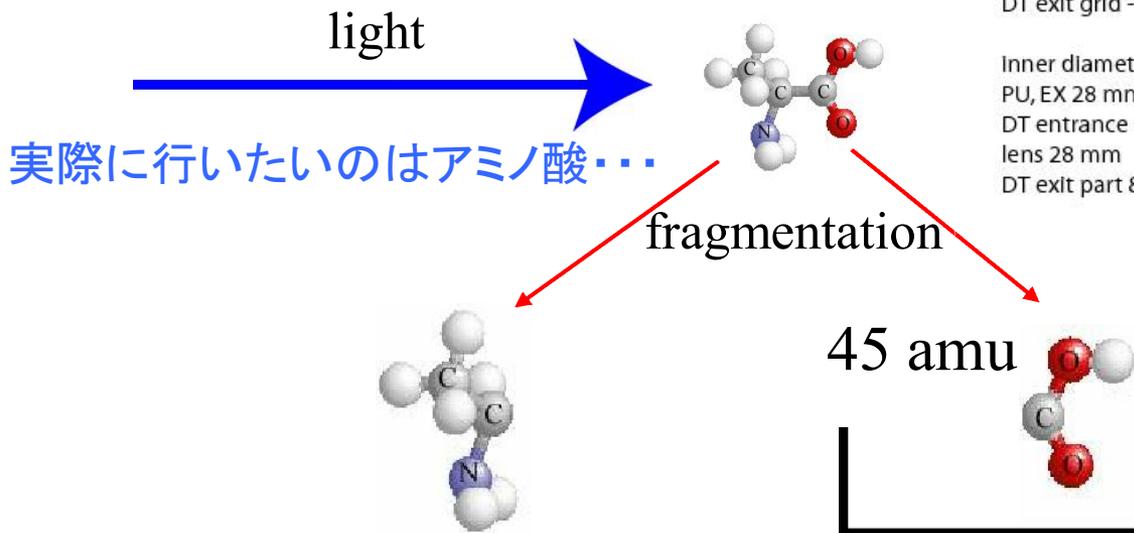
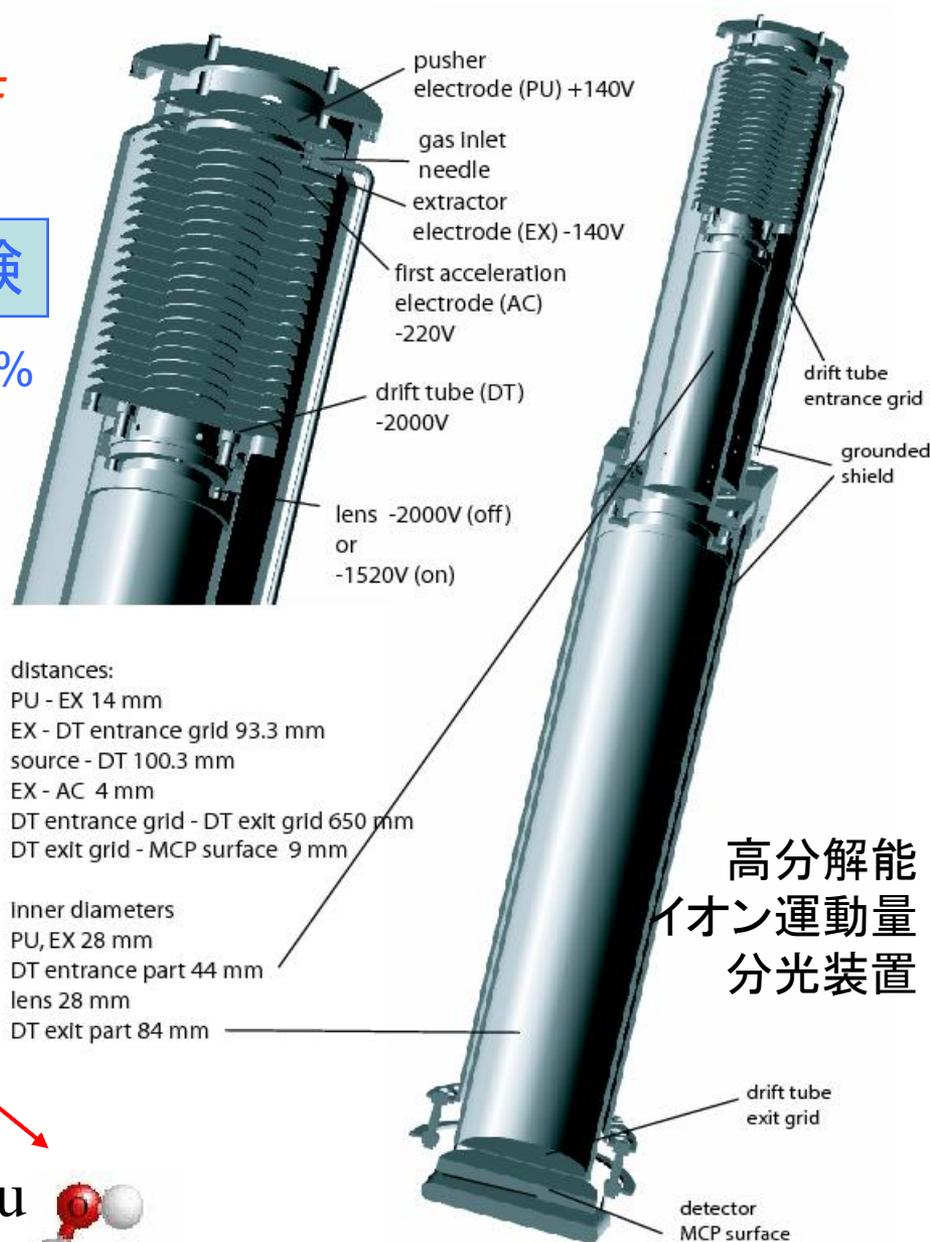
解離の円二色性: 双極子 1%?

A. Grum-Grzhimailo *et al*, JES 155, 104 (2007)

BESSY に装置を搬送し、メチルオキシランのC1s, O1s励起実験

解離の円二色性の証拠は得られず...

G Pruemper *et al*. J. Phys. B 40, 3425 (2007).



SPring-8 の少数均等バンチで初めて可能になる実験例

シングルバンチ(2バンチ)とレーザとの同期2色実験

放射光 シングルバンチ: ~200 kHz

2バンチ: ~400 kHz

フェムト秒レーザ: ~300 kHz



高効率で測定可能

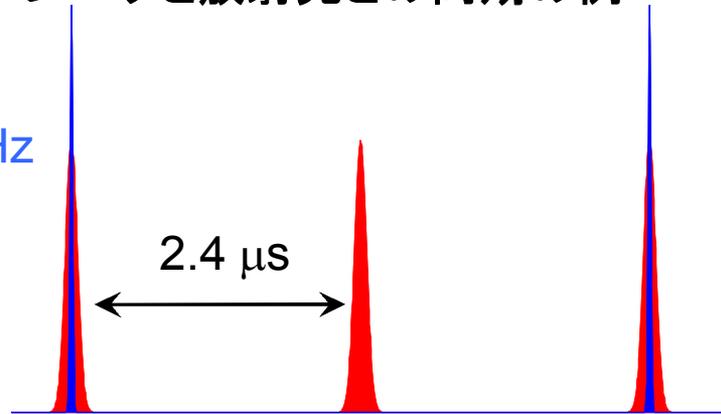
注) 100fsレーザは300 kHzまで発振可能であるが、現時点では外部同期しない

レーザと放射光との同期の例

レーザ
~200 kHz

放射光
2バンチ

2.4 μ s



レーザの効果の有無を同時に計測可能

好ましい条件: レーザパルス幅 \approx 放射光パルス幅 (+ジッター \approx 0)

理想: レーザパルス幅 \approx 放射光パルス幅 \approx 500fs ジッター \approx 0 ps

現時点で可能な目標値: レーザパルス幅 \approx 30 ps; 放射光パルス幅 \approx 30 ps; ジッター \approx 2 ps

補) カバーできる波長変換領域: 240 nm – 2600 nm、この波長領域で励起できるターゲットを対象とする。

レーザーとSRによる原子分子の内殻励起実験

目的: レーザー励起原子分子・強レーザー場中原子分子のイオン化ダイナミクスの研究

手法: フェムト・ピコ秒レーザーと放射光の同期実験と多重同時計測運動量分光

レーザー励起放射光プローブ

レーザーによる振動励起状態の内殻励起分光

電子基底状態の振動励起状態: 振動波動関数が広がる

広範囲の電子励起状態ポテンシャルをプローブできる

分子形状の変化によるプロパティの変化を見る

レーザーによる電子励起状態の内殻励起分光

電子励起状態: 基底状態とパリティが異なる

異なったパリティの内殻励起状態やイオン化状態をプローブできる

レーザーポンプ放射光プローブ時間分解測定

異性化反応

生体分子を含む(シストランス)異性化反応を分子座標系角度分解時間分解内殻光電子分光(ケミカルシフト)で追いかける

放射光励起レーザープローブ

放射光励起生成物の構造をレーザー励起光電子再衝突でプローブする

具体例) レーザによる振動励起状態の内殻励起分光

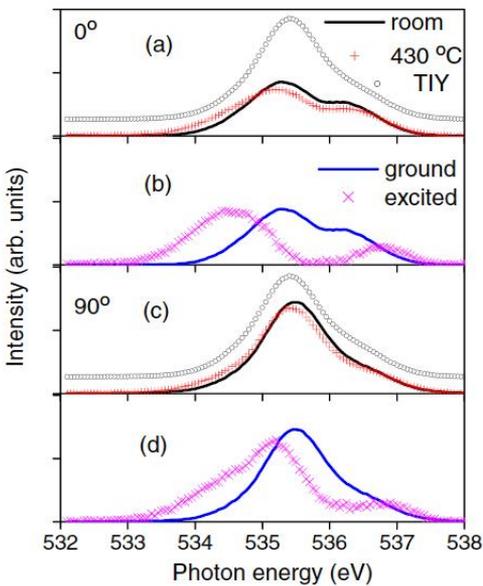
電子基底状態の振動励起状態

振動波動関数を広げる 分子変形させる

広範囲の電子励起状態ポテンシャルをプローブできる

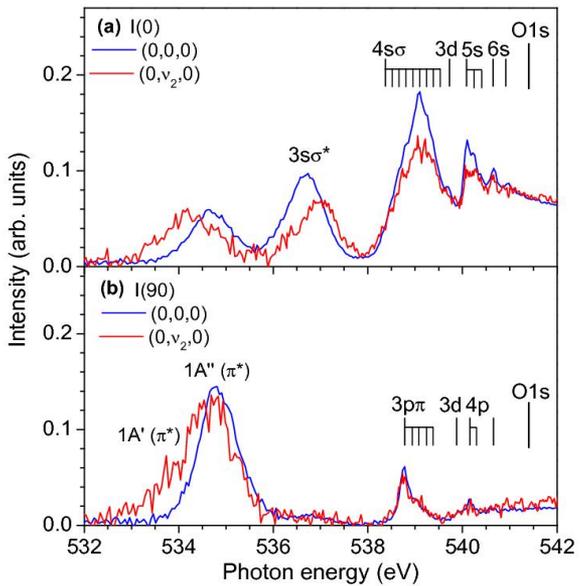
分子形状の変化によるプロパティの変化を見る

振動励起によるスペクトル変化の例



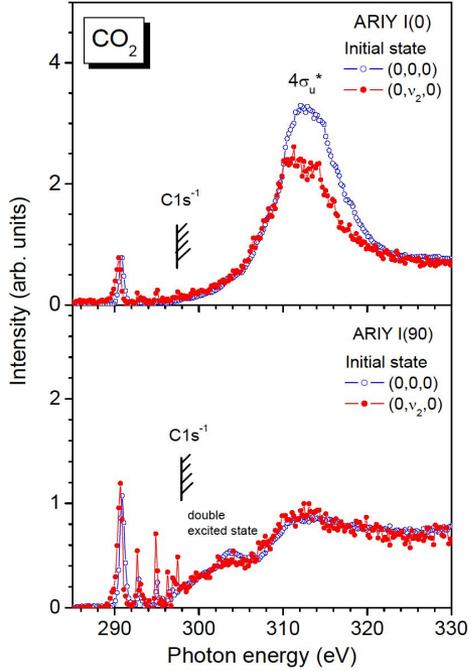
CO₂ O 1s → π*

Tanaka *et al.*, PRL **95**, 203002 (2005);



N₂O O 1s → π*, Ryd

PRA **77**, 012709 (2008);



To be published.

レーザーにより制御した振動励起実験を目指す

SPring-8少数均等バンチ運転への期待

少数均等バンチが欲しい(100mAはいらない)

・21均等バンチ(程度の)運転

電子・イオン多重同時計測運動量分光のS/N向上

・シングルバンチもしくは2バンチ運転

イオン・中性粒子・電子高分解能飛行時間測定を可能とする

レーザ同期実験

強光子場中原子分子の内殻励起ダイナミクス

内殻励起状態のプロープ・内殻励起反応過程の制御

新しい領域を切り開く