

高速点火実験 高速減衰中性子シンチレーション 計測器の開発

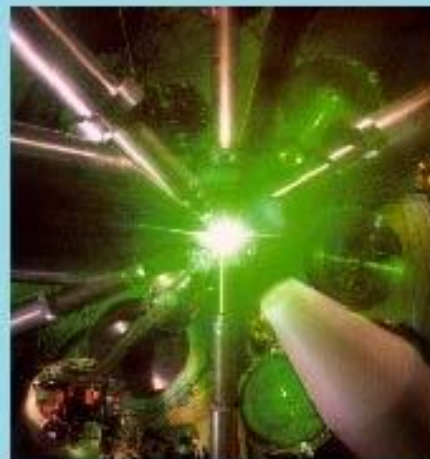


若手プラズマ研究会 2010/3/11(木)
大阪大学レーザーエネルギー学研究センター
長井隆浩、有川安信、山ノ井航平、
細田裕計、中村浩隆、渡利威士、
R. M. Cadatal、本間啓史、清水俊彦、
中井光男、猿倉信彦、乗松孝好、疇地宏、
工学部3回生の皆さん

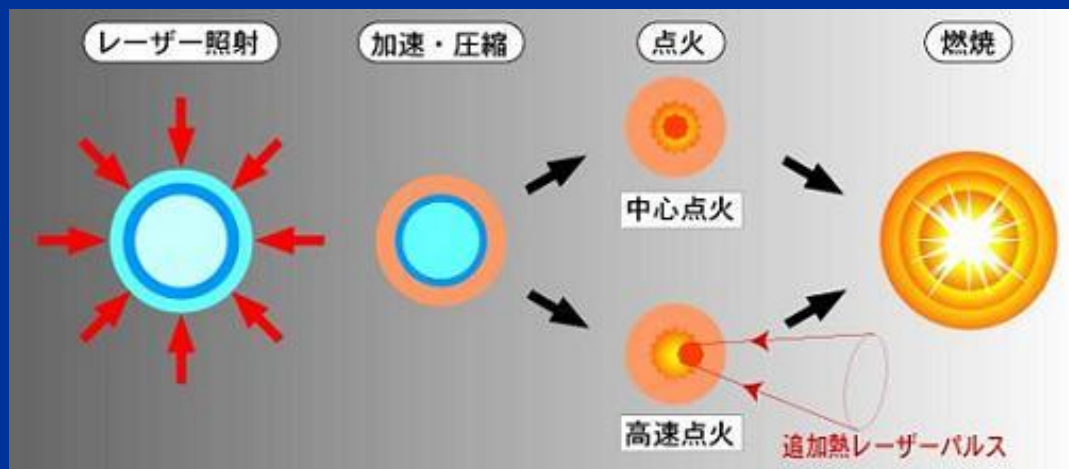
高速点火レーザー核融合



大阪大学激光XII号レーザー装置



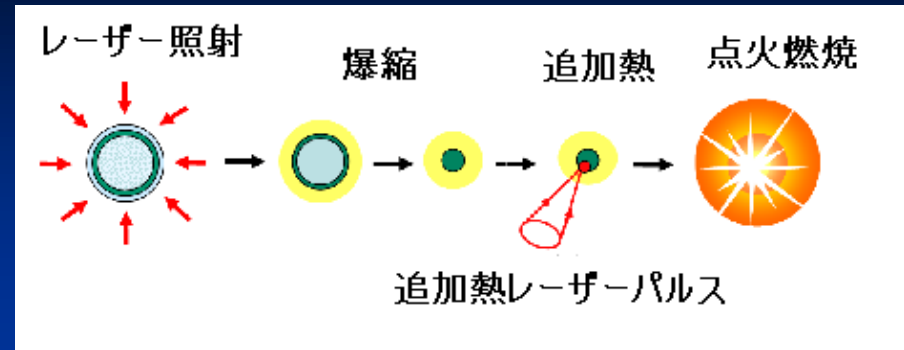
ターゲットチェンバー
(レーザー照射の瞬間)



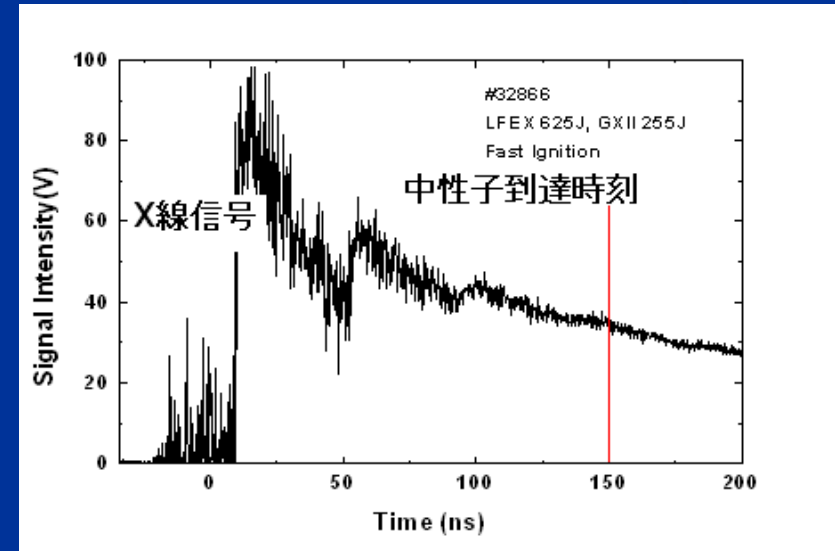
- 従来の中心点火の1/10のレーザーエネルギーで同利得

高速点火実験における問題

- 中性子イールド $10^4 \sim 10^7$ [1]が期待される
- 追加熱レーザーと爆縮プラズマとの相互作用で生成する大量の高エネルギー電子によって、高エネルギーのX線が発生
- 中性子計測において、X線信号の高強度残留成分により中性子の計測が阻害される



高速点火レーザー核融合



TOF中性子シンチレーション計測器の高速点火実験における典型的な信号 (中性子1個当りの信号強度 ≈ 0.1 V)

3つの解決策により高速減衰の計測器を開発

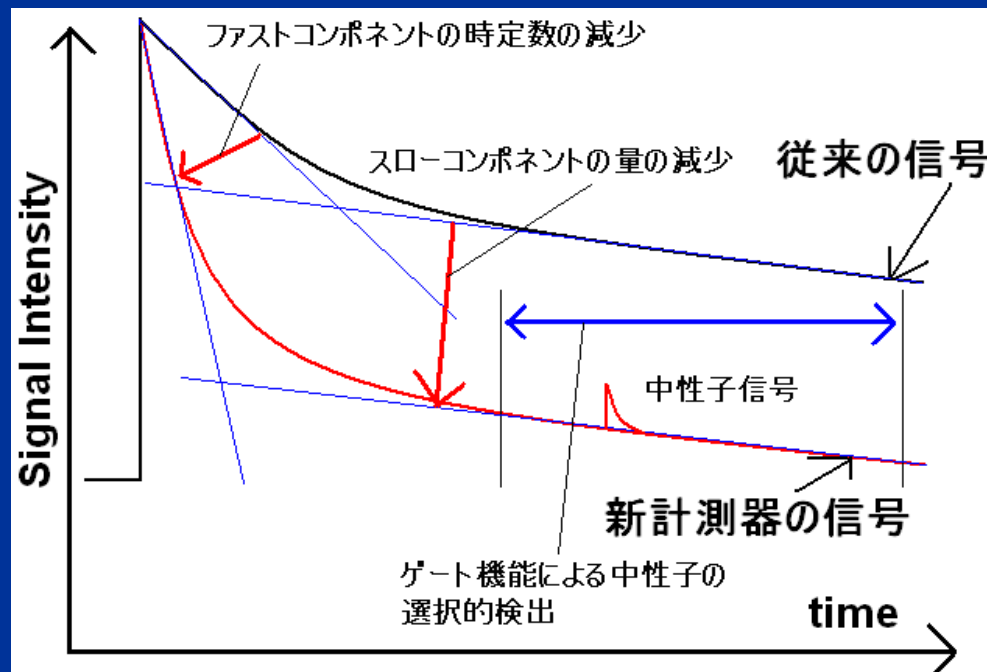
■ シンチレータ素材開発

① 酸素クエンチング法によるスローコンポーネントの減少

② シンチレータの発光核の最適化によるファストコンポーネントの短寿命化

■ 光電子増倍管

③ Gate機能付き光電子増倍管(PMT)による中性子信号の選択的検出

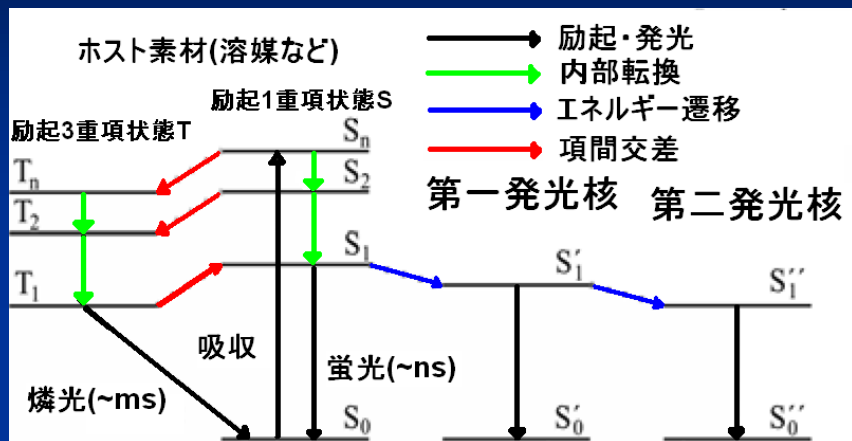


解決策の概念図

解決策①酸素クエンチング法

酸素クエンチング法によって

信号のスローコンポーネントを減少できる



シンチレータのエネルギー遷移図

- 励起3重項状態の溶媒は遅発発光をもたらす
⇒スローコンポーネント
- 溶存酸素により励起三重項状態の溶媒をクエンチング可能
- 即発発光は酸素の影響を受ける前に発光する

酸素と励起状態の溶媒の反応



(励起1重項クエンチング)



(励起3重項クエンチング)

M: 溶媒分子、O₂: 酸素分子

酸素クエンチング法によって

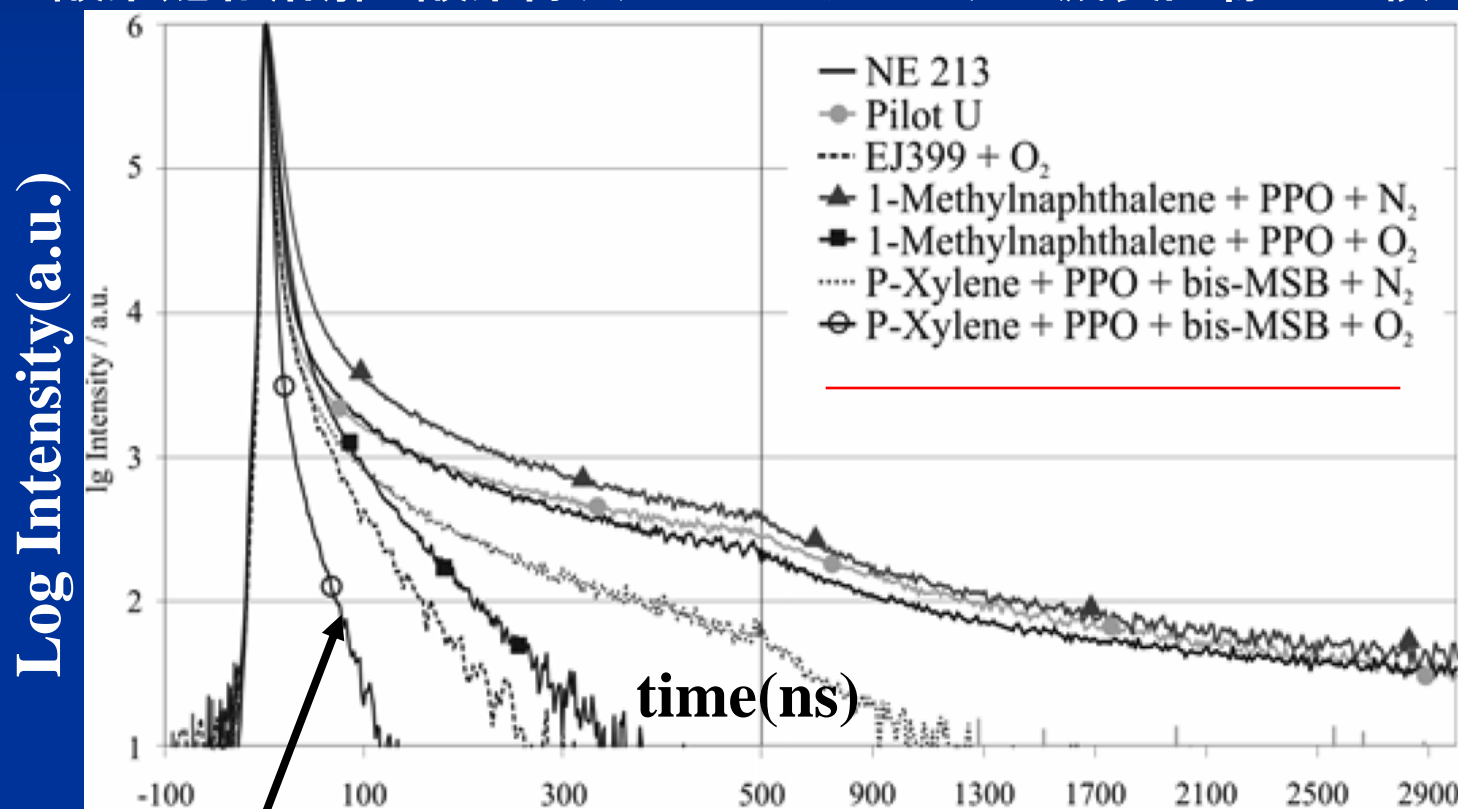
スローコンポーネントは減少できる

解決策②発光核の最適化

既存の高速に減衰する発光核

- 酸素クエンチング法に関する論文
- Lauck et al., in *Liquid Scintillators for Fast-Neutron Spectrometry and Imaging Applications*

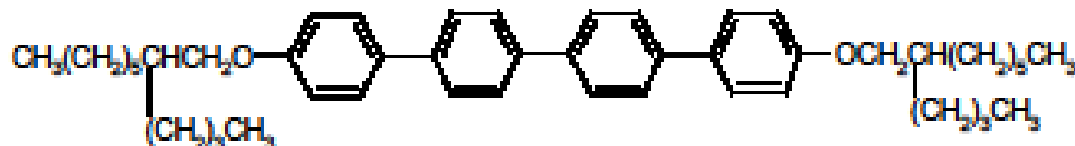
酸素飽和溶解と酸素除去したシンチレータの減衰曲線の比較



高エネルギーX線に耐えるためにより高速化が期待される発光核を選定する

解決策②発光核の最適化

高速減衰しうる発光核を選定した



BBQの構造式

■ 発光核の条件

- PMTに使用可能な発光
(光電窓材(BK7)において
高透過率: $\lambda > 380\text{nm}$)
- より短波長の発光 ($\tau \propto \lambda^3$)

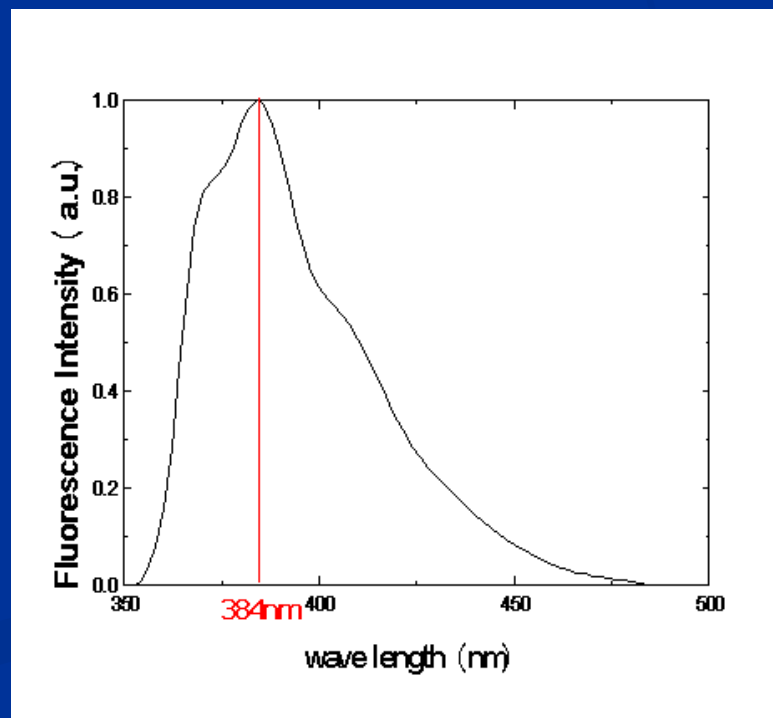
■ BBQという発光核を選定

正式名称

4,4''-bis-(2-butyloctyloxy)-p-quaterphenyl

■ 蛍光ピーク: 384nm

発光核BBQのシンチレータが
高速減衰すると想定



波長300nmの励起光のBBQの蛍光強度

遅発発光まで観測するための大ダイナミックレンジ 減衰曲線測定による比較実験

■ 測定・比較したシンチレータ

■ 開発した新シンチレータ ×4

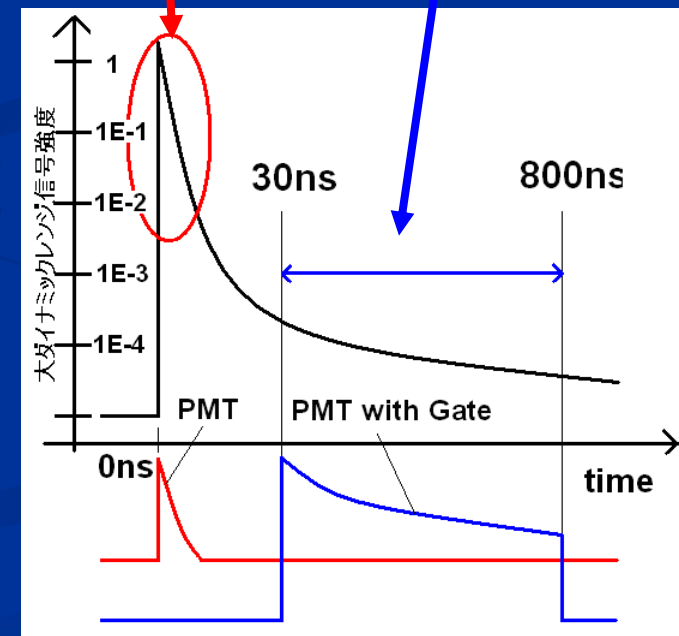
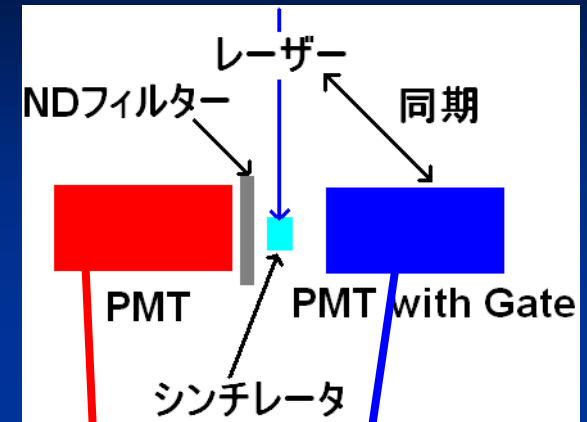
- 溶媒: p-キシレン
- 発光核: BBQ、PPO+bis-MSB
- 酸素、窒素: バブリング

■ 従来のシンチレータ: BC422

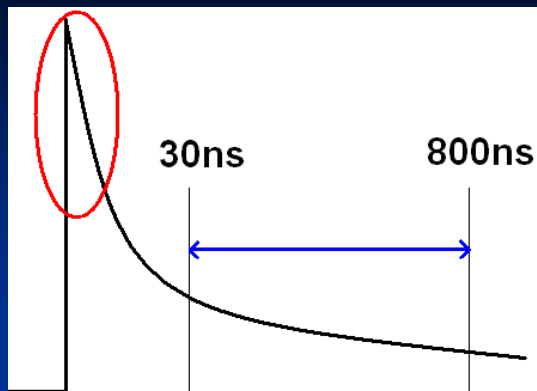
■ 遅発発光まで測定するために 大ダイナミックレンジを得られる測定

- 信号のピークとスローコンポーネントの
部分を2つのPMTで同時観測

ファーストコンポーネントの時定数と
スローコンポーネントの量を比較

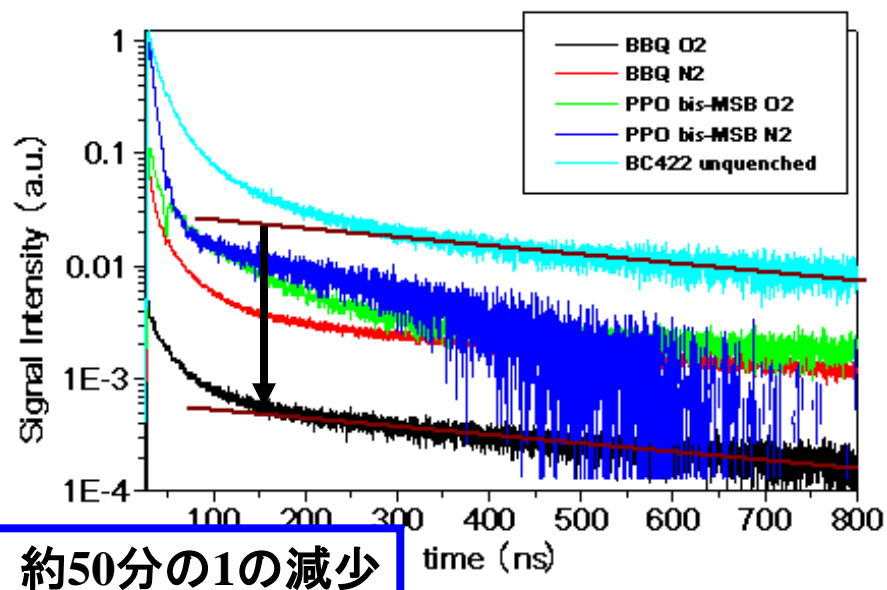
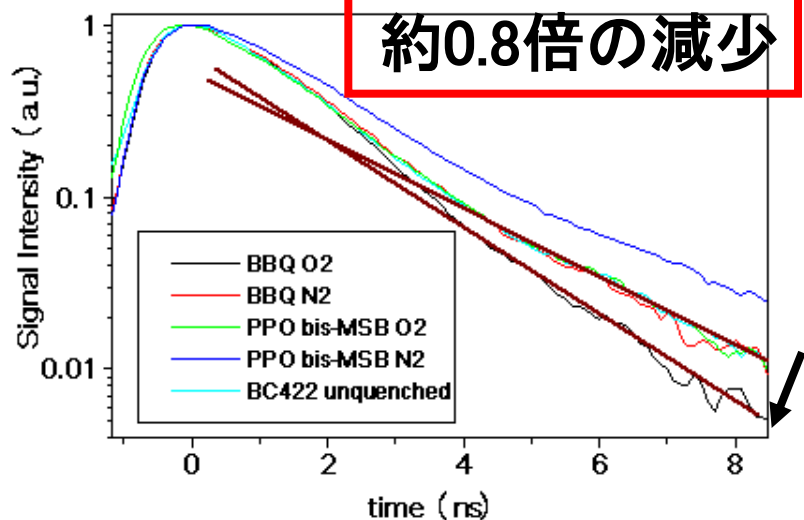


発光核BBQ酸素飽和シンチレータが最も高速減衰した

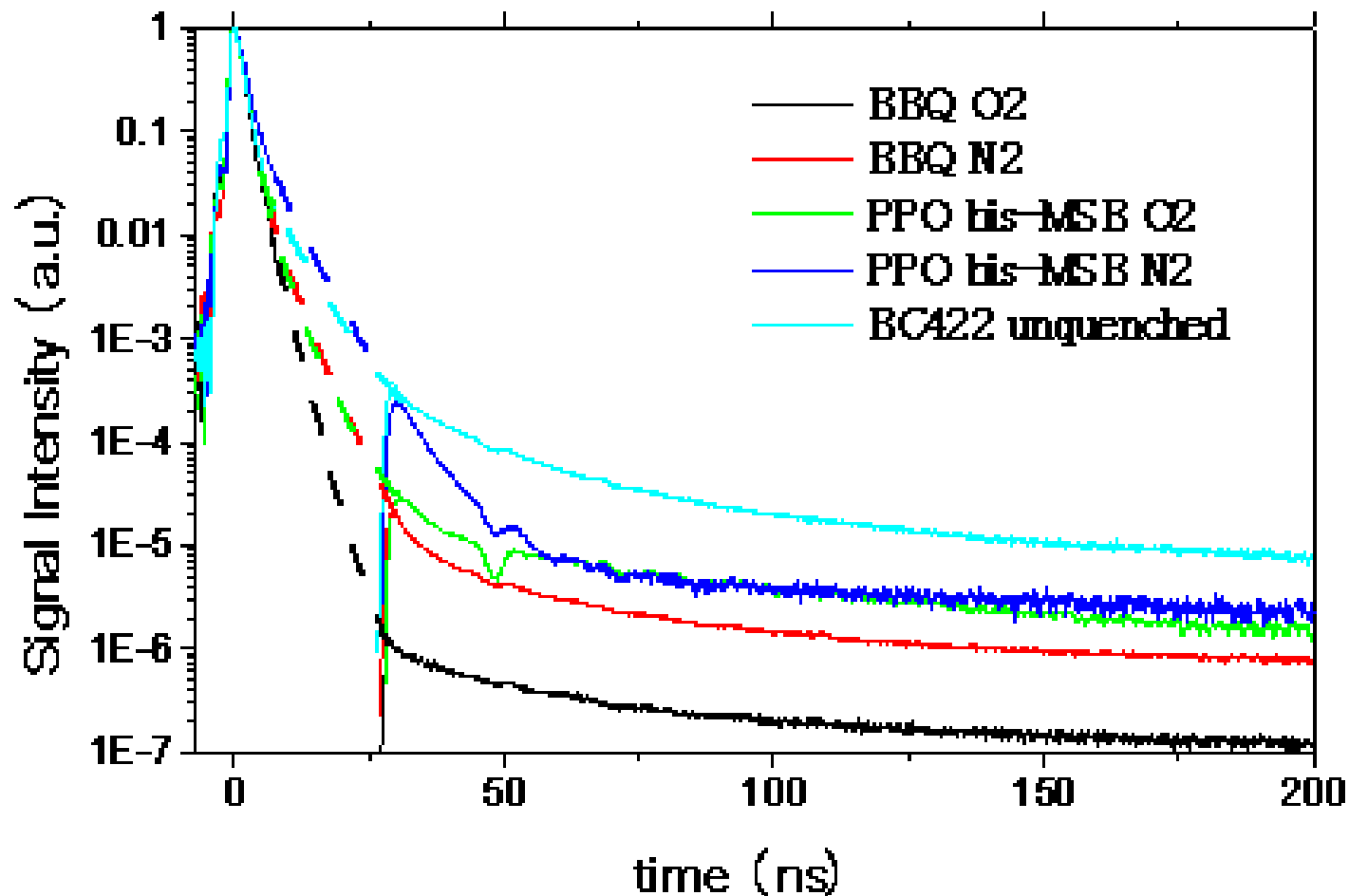


ピークを観測した信号

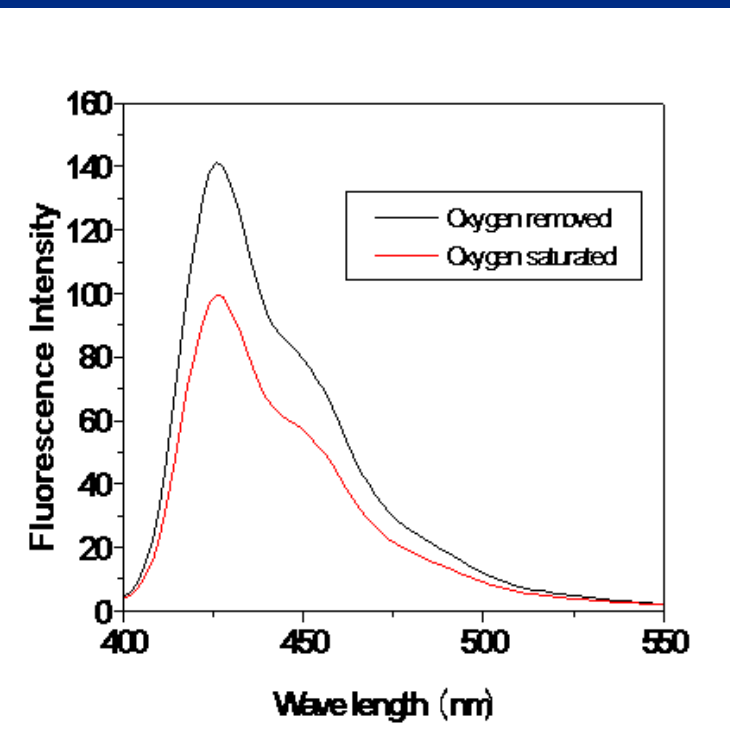
スローコンポーネントを観測した信号



7桁のダイナミックレンジを得た減衰曲線



酸素飽和と酸素除去シンチレータの 発光量比較



新シンチレータの溶存酸素の
有無による発光量の比較

	酸素除去	酸素飽和
発光量(%)	100	72

※ 中性子源に対して酸素飽和のシンチレータは
BC422unquenchの信号量とほぼ同等の信号量
を示している

詳しい定量評価は今後行う

考察

- シンチレータ素材の相対比較ができた。
- UV励起の減衰曲線は γ 線による減衰曲線と違うプロファイルを示す。
⇒高エネルギーX線による減衰曲線を示せたわけではない
- γ 線の減衰曲線のプロファイルを得るためには γ 線励起の大ダイナミックレンジ減衰曲線を測定する必要がある。

まとめ

- 高速点火実験においてX線の信号の残留成分が中性子計測の妨げになっている
- 信号の残留成分の減少には、酸素クエンチング法、発光核の最適化、Gate機能付きPMTの3つの解決策を取る
- 酸素クエンチング法、発光核の最適化により、従来よりファストコンポーネントの時定数が0.8倍、スローコンポーネントが1/50減少したシンチレータが得られた
- 同時にPPO + bis-MSBのシンチレータよりも高速減衰なシンチレータが得られた

今後

- γ 線の減衰曲線のプロファイルを得るために γ 線励起の大ダイナミックレンジ減衰曲線を測定する
- シンチレータの形状を同じにして、波高分布によって発行量比較を行う