ALPS処理水海洋放出を想定した トリチウムの連続計測

２０２２年９月８日

一般社団法人新生福島先端技術振興機構

研究の背景

福島原子力発電所内に溜まり続けているトリチウム汚染水、海洋放出が計画されている
⇒汚染水の海洋放出には汚染性の全量検査が必要
⇒現在全量計測するシステムは存在しない
⇒本発表では「ALPS処理水海洋放出を想定したトリチウムの連続計測」について述べる

汚染水増大
↓
貯水タンク増設限界
↓
汚染水の海洋放出
↓
トリチウムの計測必修

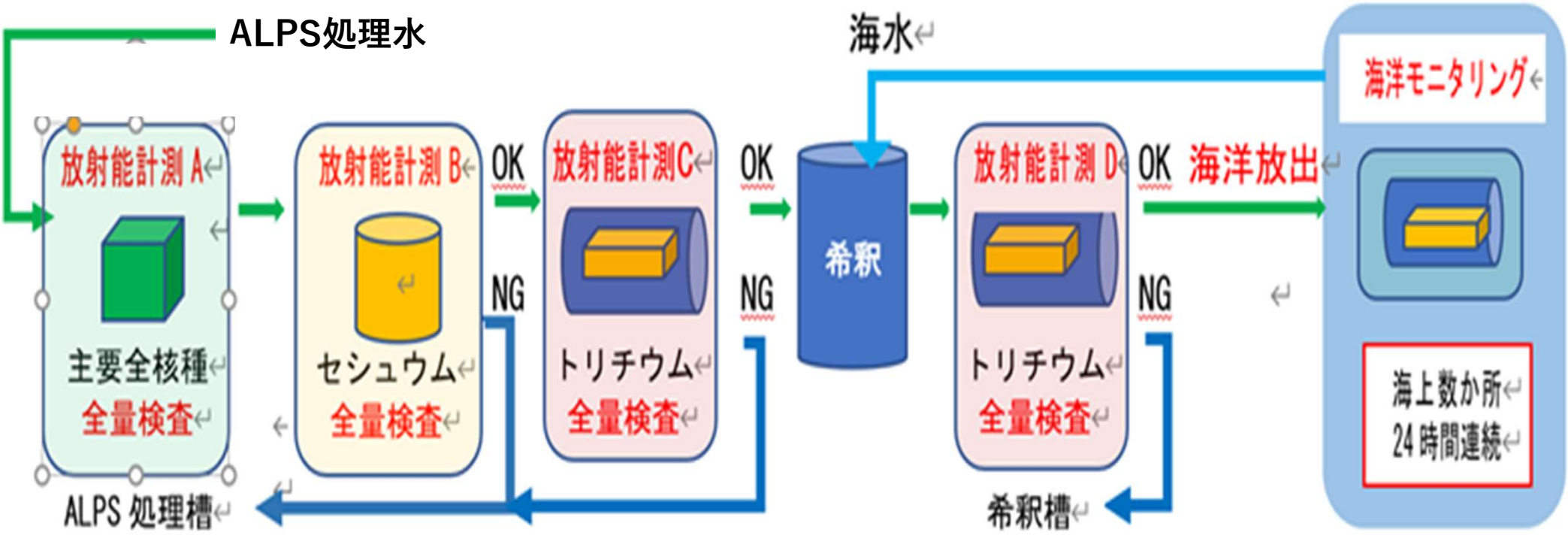
本開発で課題解消

現在はサンプル測定
⇒検出システムの開発により全量検査を可能にする

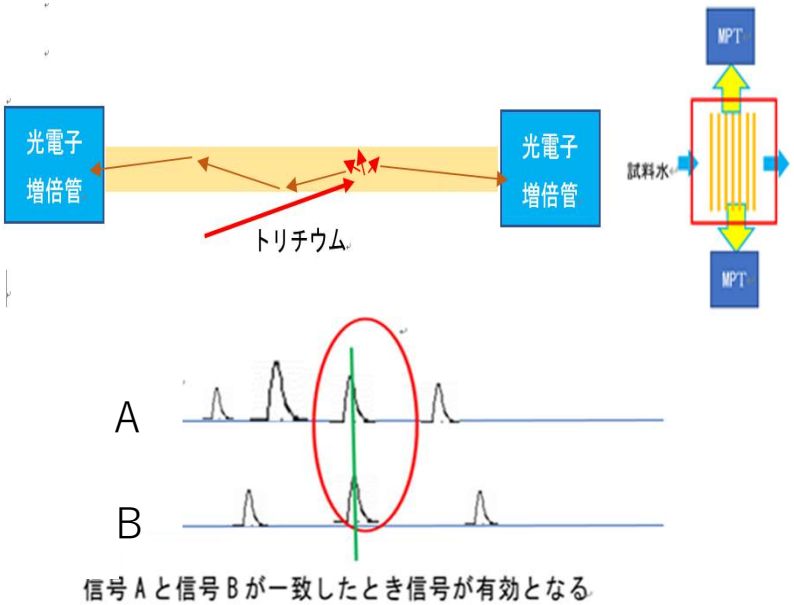
トリチウムの計測

分析手法	シンチレータによる 同時事象検出法	電解濃縮法	He-3成長法
原理	同時事象検出 シンチレータを用いた既存の計測法 但し2個の検出器を用いた同時事象検出法	トリチウムの濃縮 水の電気分解における同位体効果を用いてトリチウムを濃縮	壊変後のHe-3を計測 トリチウムが壊変して生成する He-3を分析し、元のトリチウム濃度を得る
前処理	必要なし	電解濃縮法によるトリチウムの濃縮	トリチウムの壊変待ち
測定方法	GAGGシンチレータ検出器	液体シンチレーションカウンタ	質量分析
分析時間	100秒でも可能	１～４週間程度	数か月
装置の構造	やや複雑	比較的単純	複雑で大規模

海洋放出を想定したトリチウムの連続計測

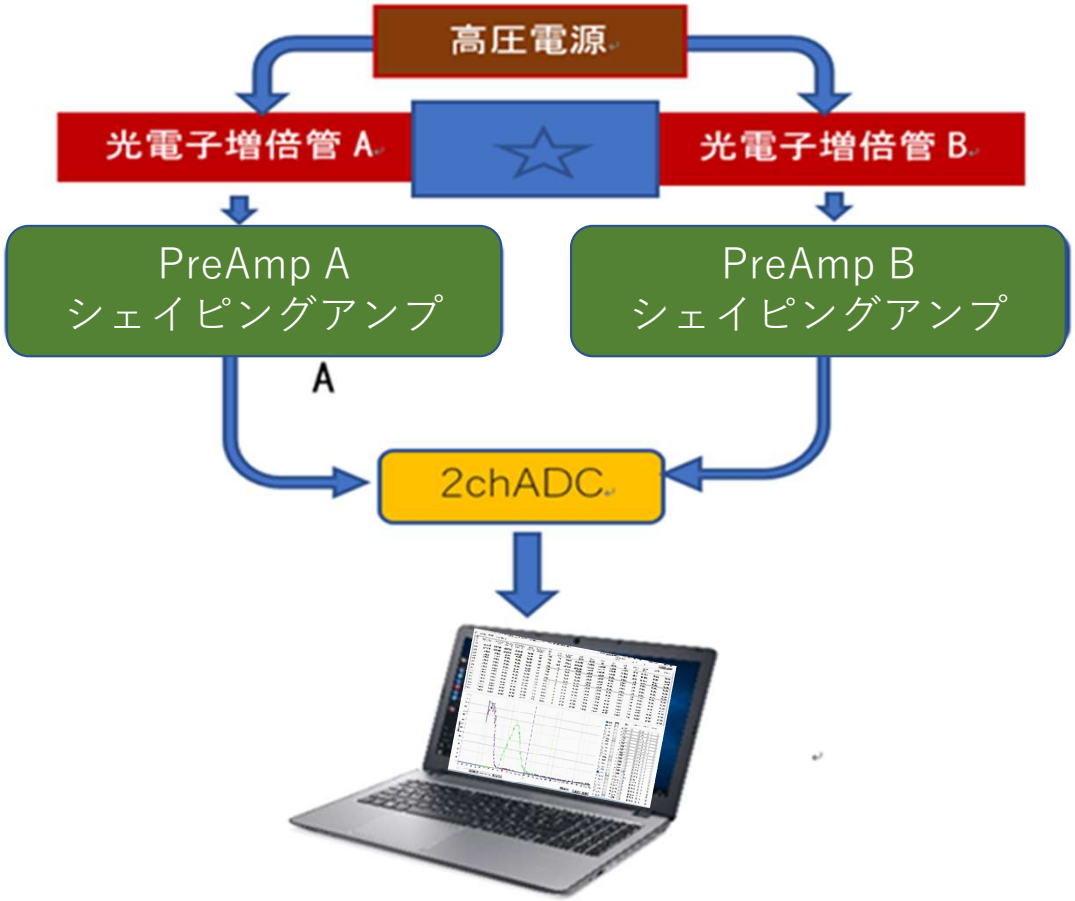


同時事象検出：ノイズと信号の分離



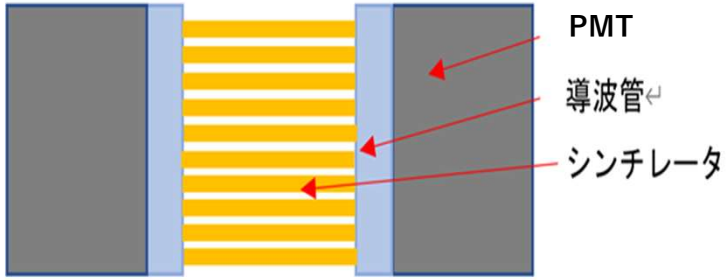
信号Aと信号Bが一致したとき、有為な信号とみなす

PC上にスペクトルを表示する

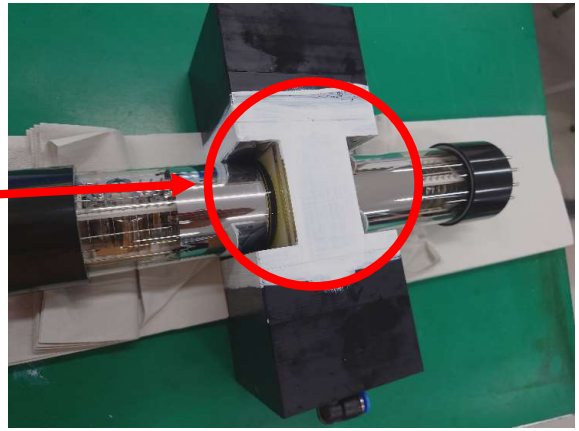


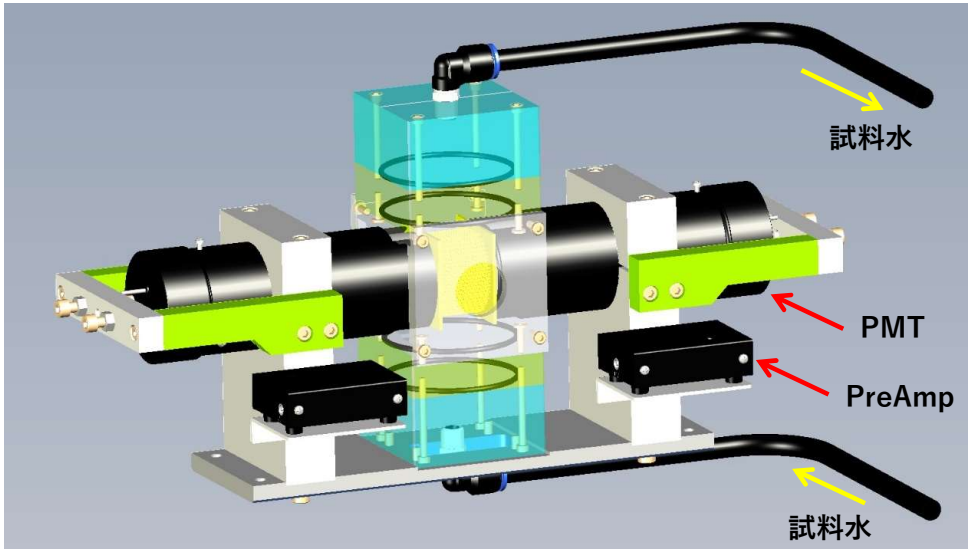
検出器概要

検出器構造



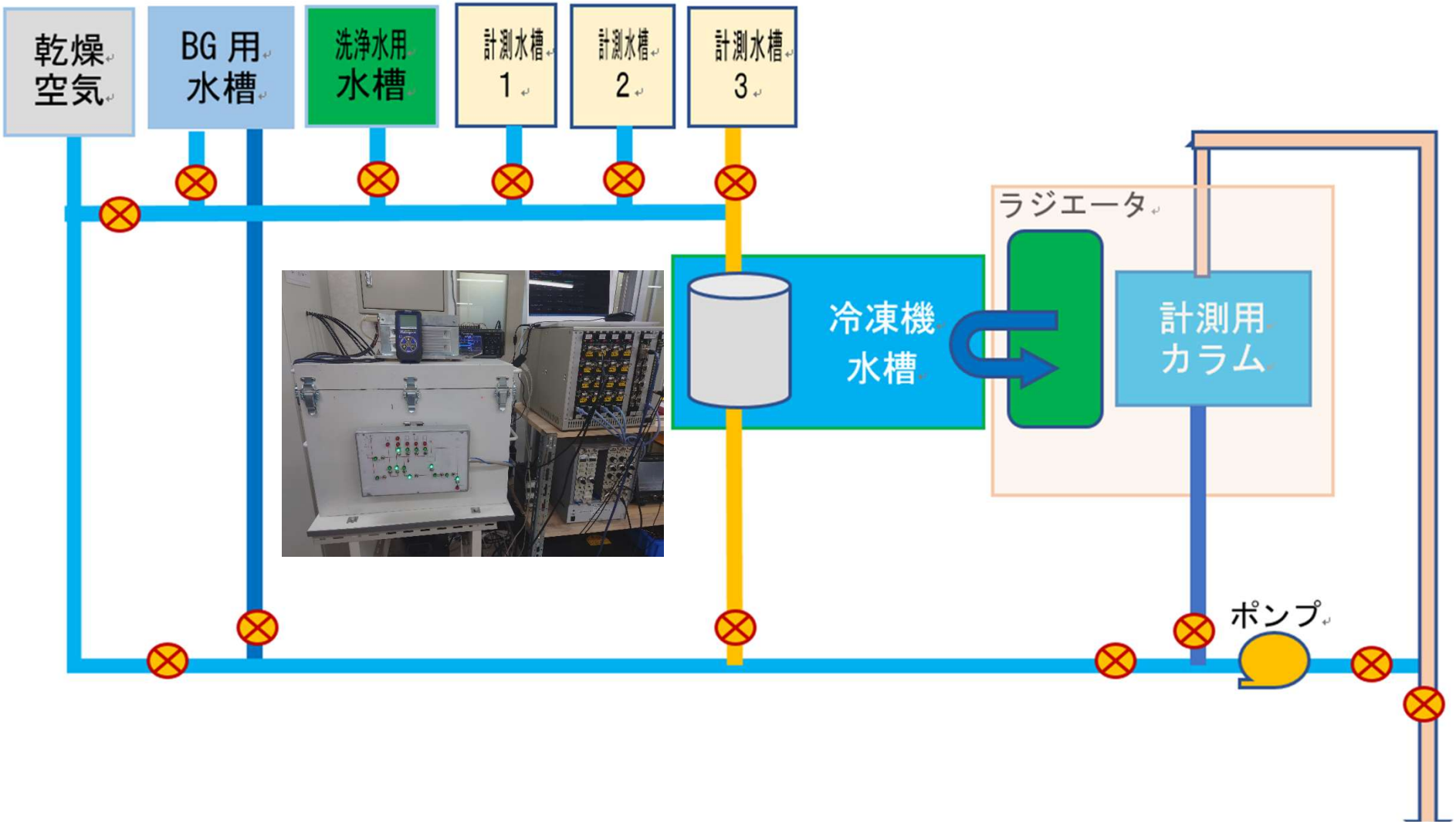
検出器



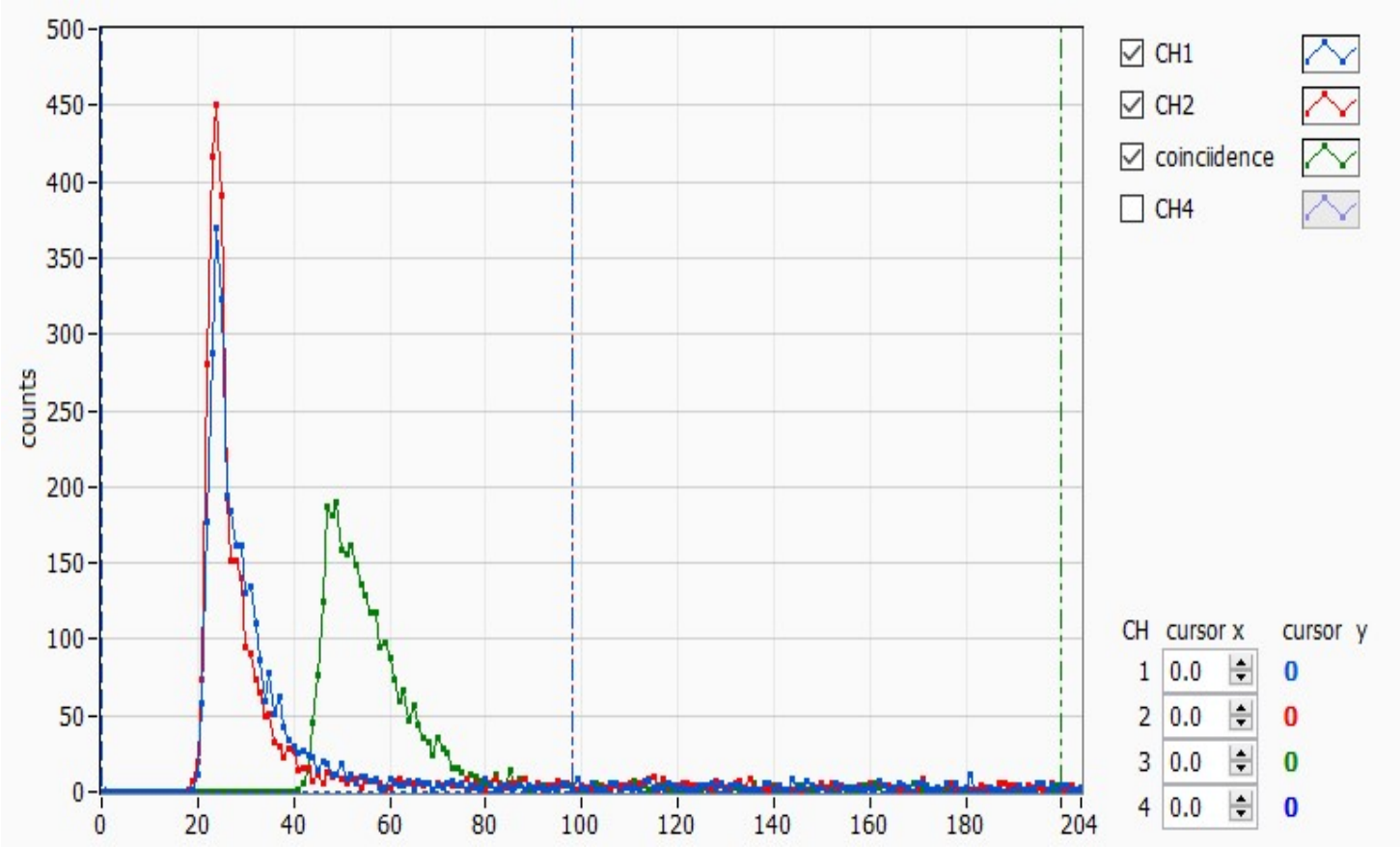


計測ユニット

評価試験機



トリチウムのスペクトル



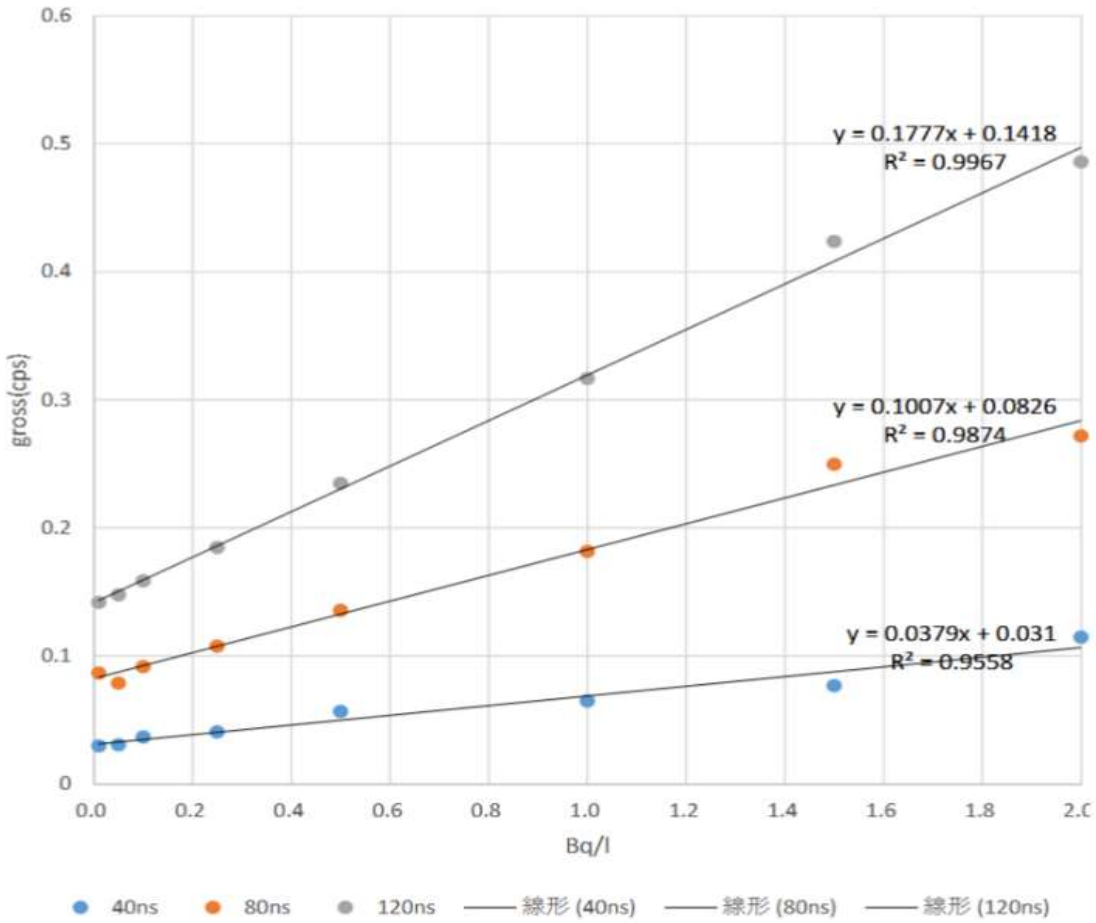
0°C、閾値：25, 同時計測時間120nsecの時の検出器出力とトリチウムスペクトル

検量線と検出下限

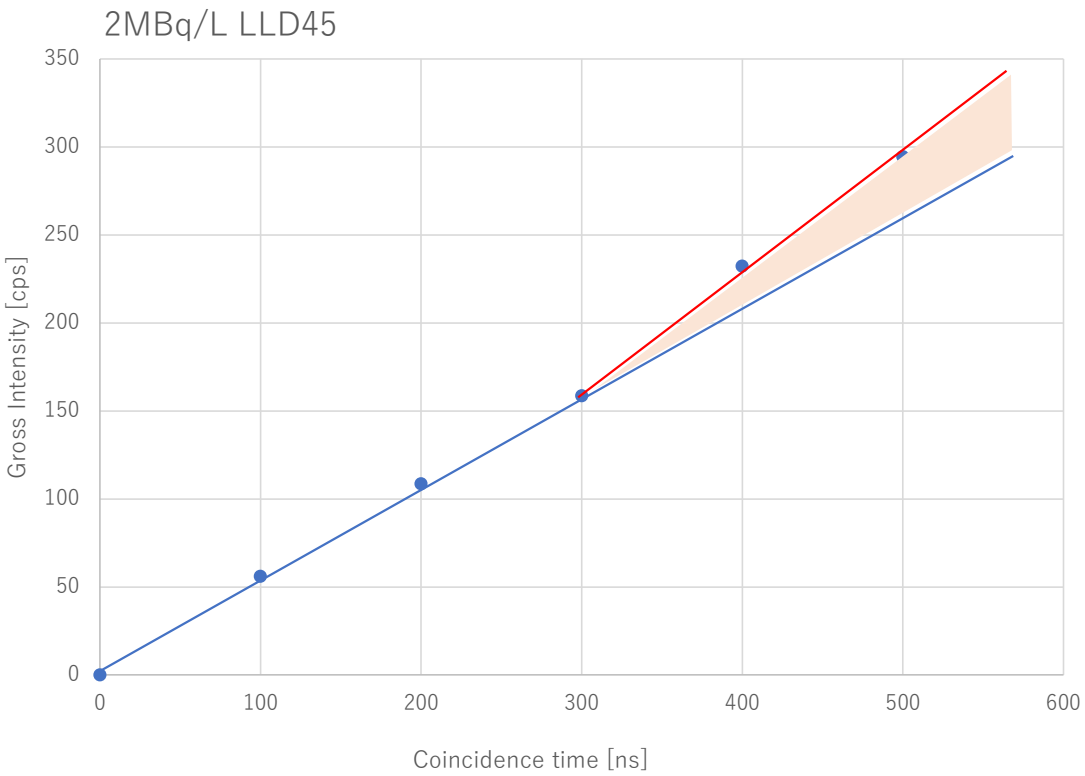
濃　度 (MBq/L)	同一判定時間			計測時間
	40ns	80ns	120ns	
2.0	0.115	0.272	0.486	1000s
1.5	0.077	0.25	0.424	1000s
1.0	0.065	0.182	0.317	1000s
0.5	0.057	0.136	0.235	1000s
0.25	0.041	0.108	0.185	1000s
0.1	0.037	0.092	0.159	2000s
0.05	0.031	0.079	0.148	2000s
0.01	0.03	0.087	0.142	4000s

検出下限値（LLD）
　t=30　0. 6MBq/L
　t=100　0. 36MBq/L

改善が必要　①検出感度の向上
　　②計測時間を増やす
　　③計測量（検出器）を増やす



同時計測時間の最適化



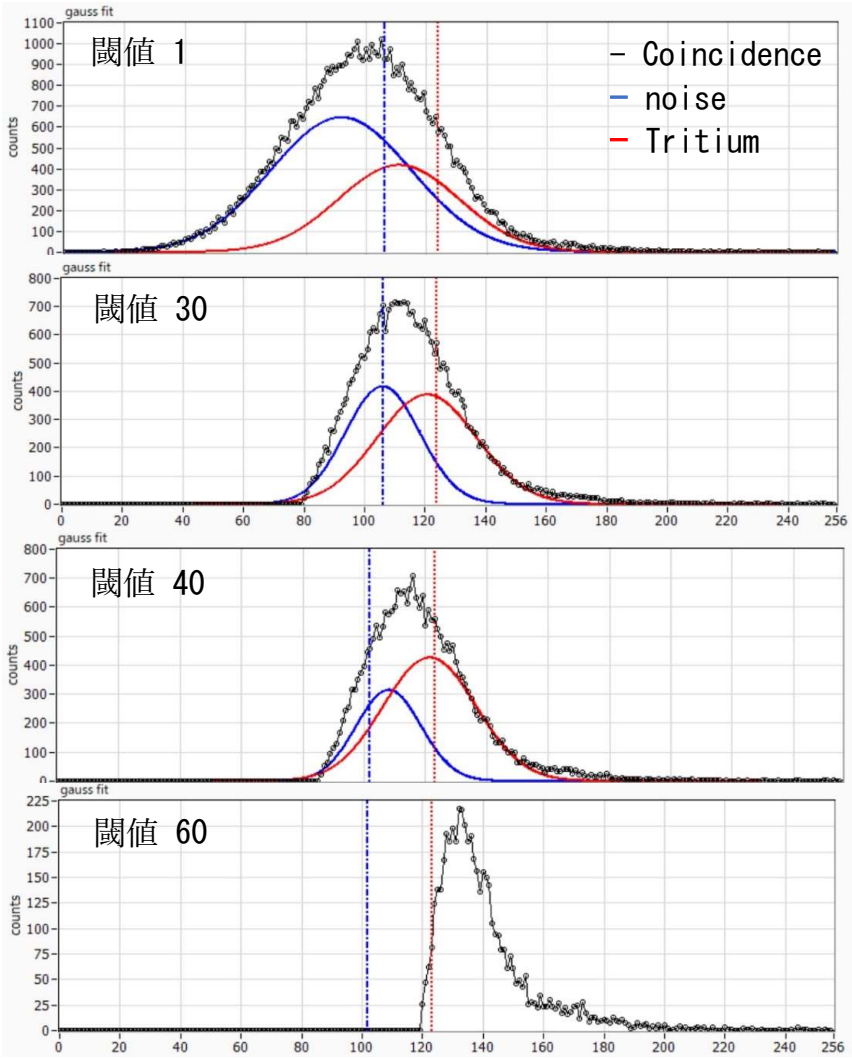
同時計測時間と積分強度

＊シンチレータの励起後の緩和時間は10ns以内
　→同時事象判定もこの範囲のはず
　→データ処理時間を考慮すると
　　これを長くすることができる

＊測定結果から
　300ns以上で直線性から逸脱
　　→処理アルゴリズムに関係
　＋グラフ赤線と青線の間

同時事象判定時間を300nsと定めた。

同時事象２入力の信号のLLDとトリチウム信号



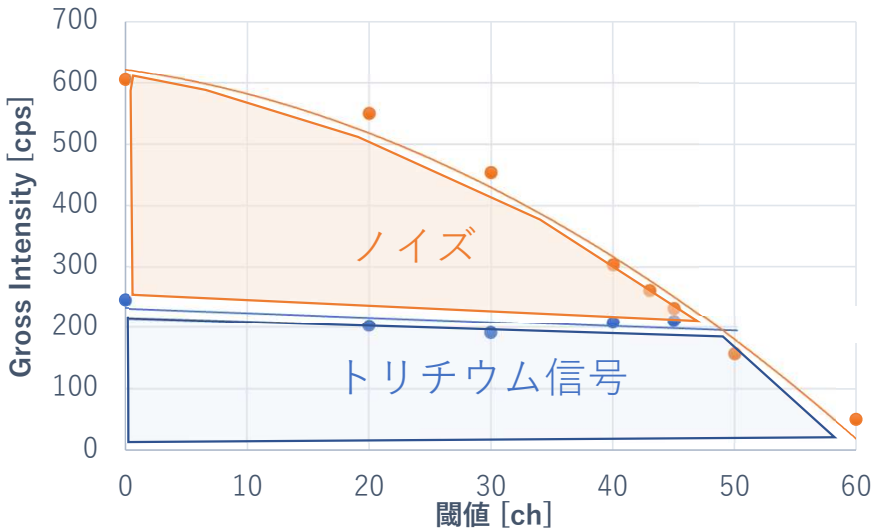
＊同時事象検出による信号スペクトル

Curve fitting(Gauss)
２つのスペクトルに分離
X線源(Cu-Kα:8keV) とほぼ一致
→トリチウム由来と同定
↓
ノイズとトリチウム由来の信号に分離可能

＊ノイズ除去

閾値増加に伴いノイズ減少
閾値45を境にノイズをほぼ含まない
↓
トリチウム由来の信号に単一化

ノイズとトリチウム由来信号の分離



ROI及びトリチウム由来ガウス近似の積分強度

- ROIの積分強度
  →ノイズ＋トリチウム由来の信号強度
- トリチウム由来の積分強度（ガウス近似）
  →トリチウム由来の信号強度

＊トリチウム濃度の定量
ノイズとトリチウム信号の分離

閾値(0-45)

ROI強度	減少
トリチウム由来	ほぼ一定

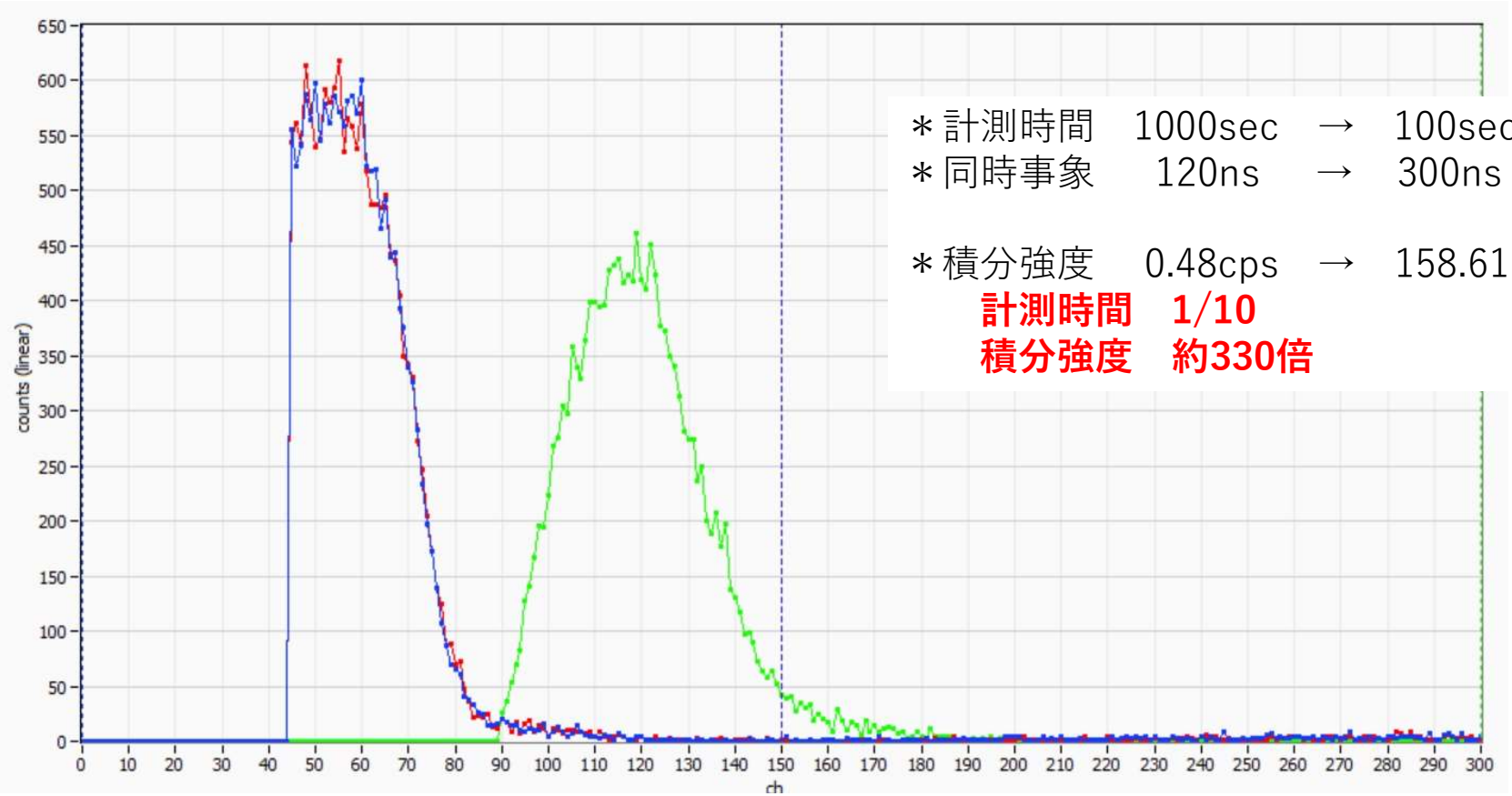
閾値(45-60)

ROI強度	減少

→　閾値45以上 トリチウムのみ

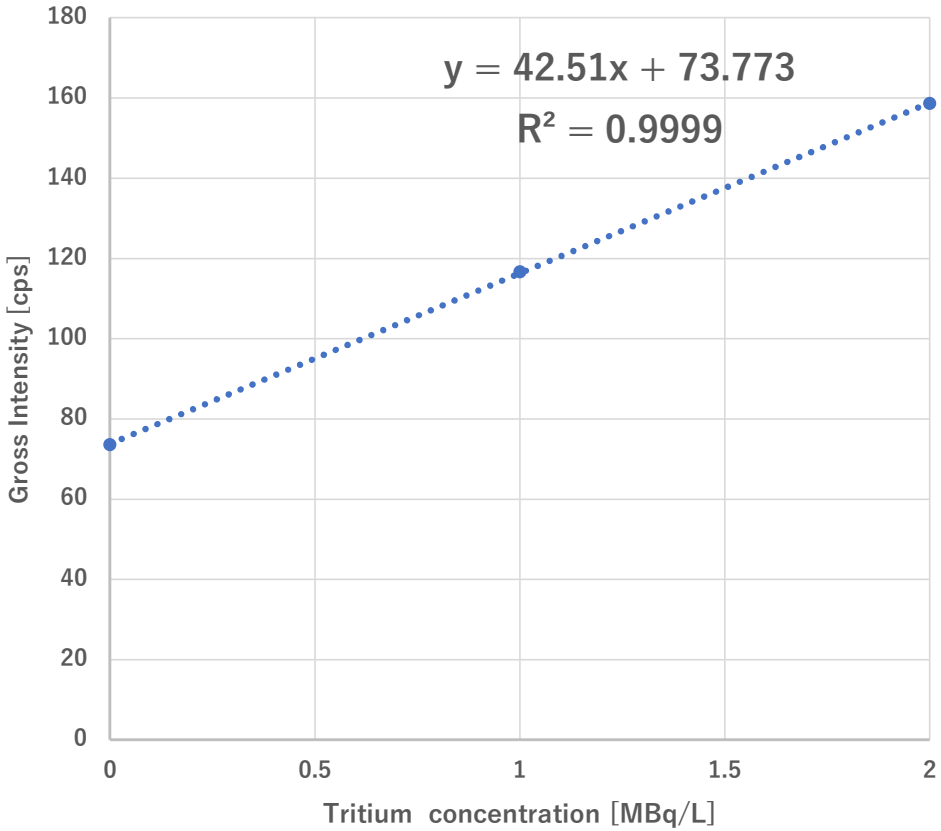
計測システム見直し後のトリチウムのスペクトル

改善点：同時計測時間の最適化・閾値最適化・プリアンプ等の改善



0°C、閾値：45，同時計測時間300nsecの時の検出器出力とトリチウムスペクトル

検量線と検出下限値



Calibration Curve

検出下限値（LLD）

トリチウム濃度	H	[Bq/L]
信号強度	Ns	[cps]
バックグラウンド	Nb	[cps]
計測時間	t	[sec]
移動平均回数	a	[times]
並列系統数	n	[series]

機器換算係数　K = H/Ns･n

LLD = K･3√(Nb･n/a･t)

計測時間　100sec

同時事象時間 300ns, 閾値45ch

LLD　=　32,451 Bq/L

移動平均10回

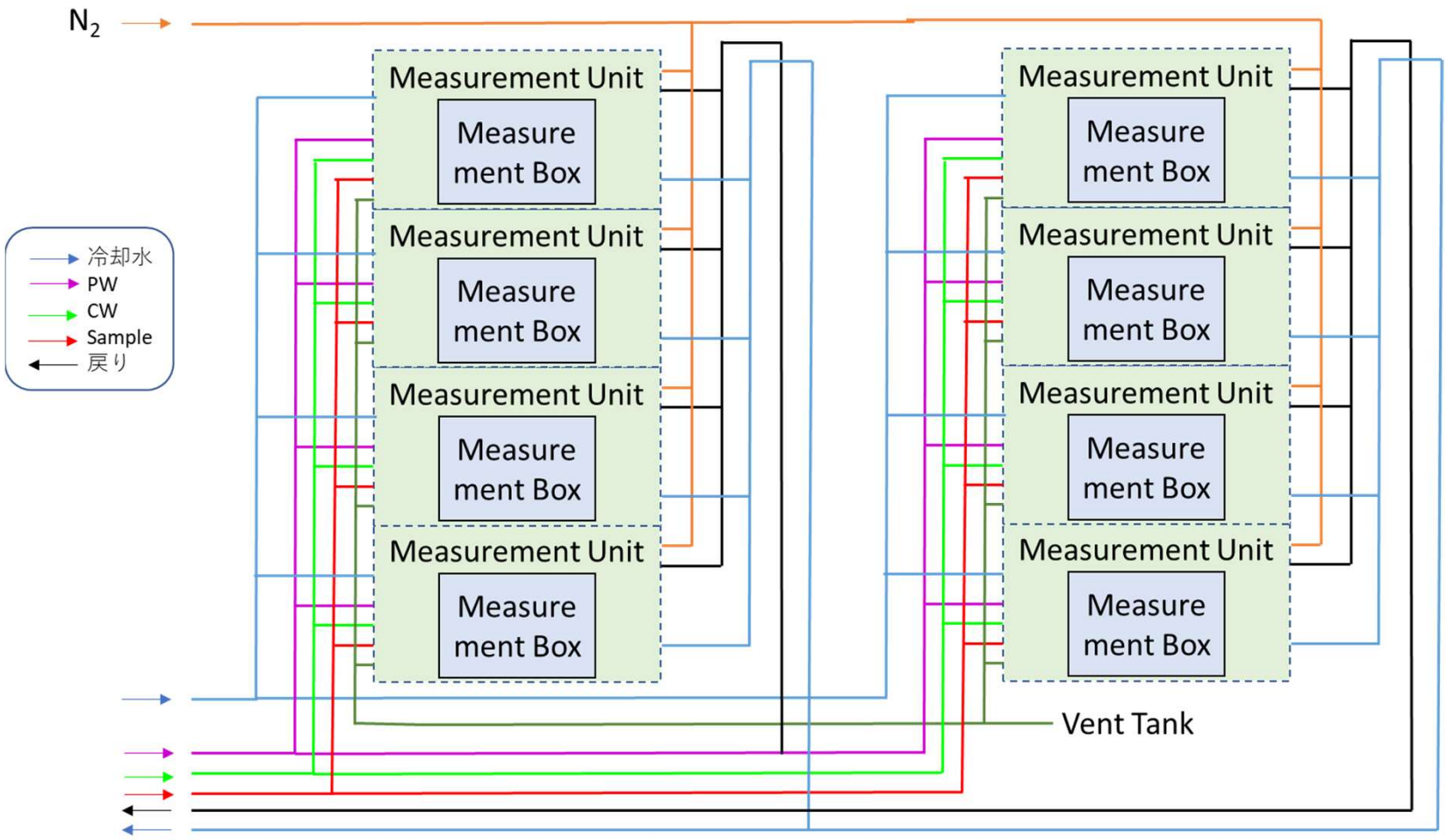
LLD10　=　10,262 Bq/L

7系列

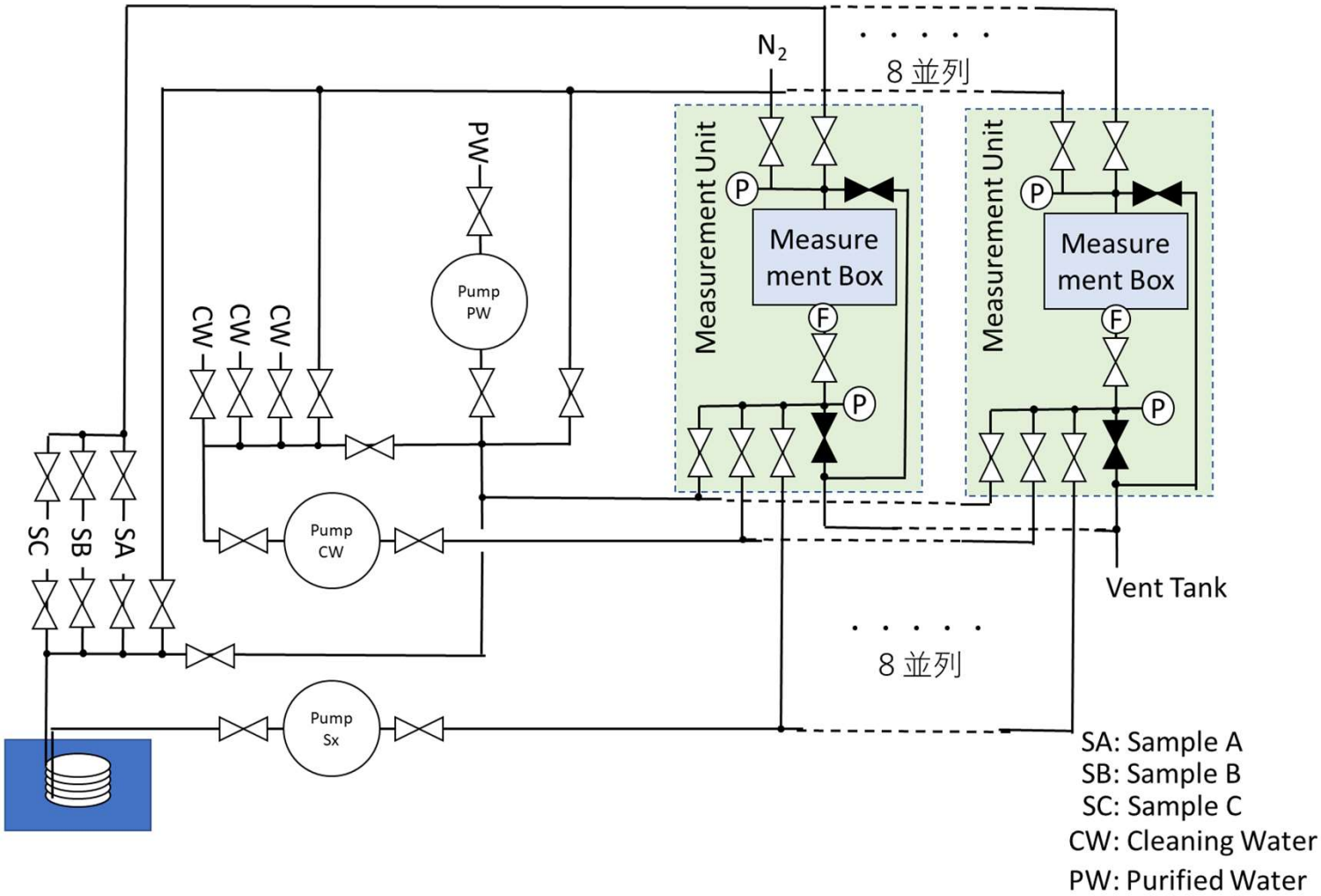
LLD10x7 =　1465 Bq/L

8系列実証機の設計

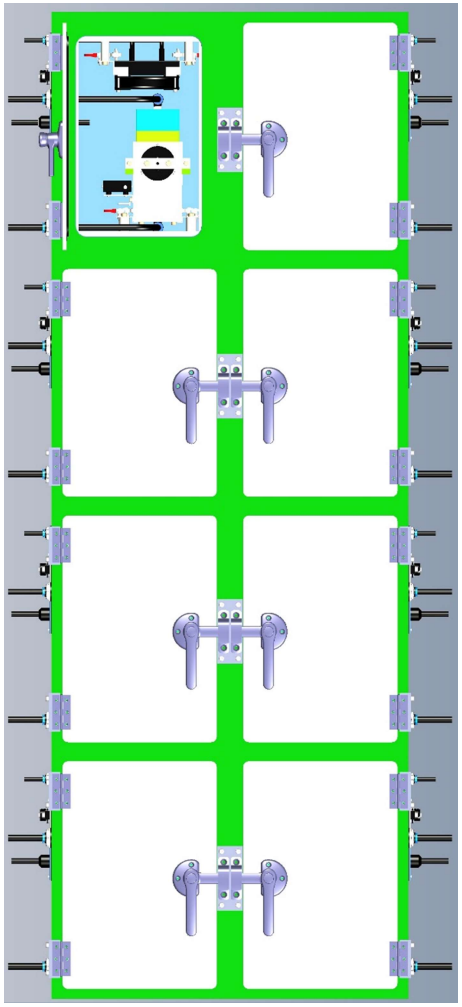
8 系列実証試験機 並列接続　リバースリターン方式

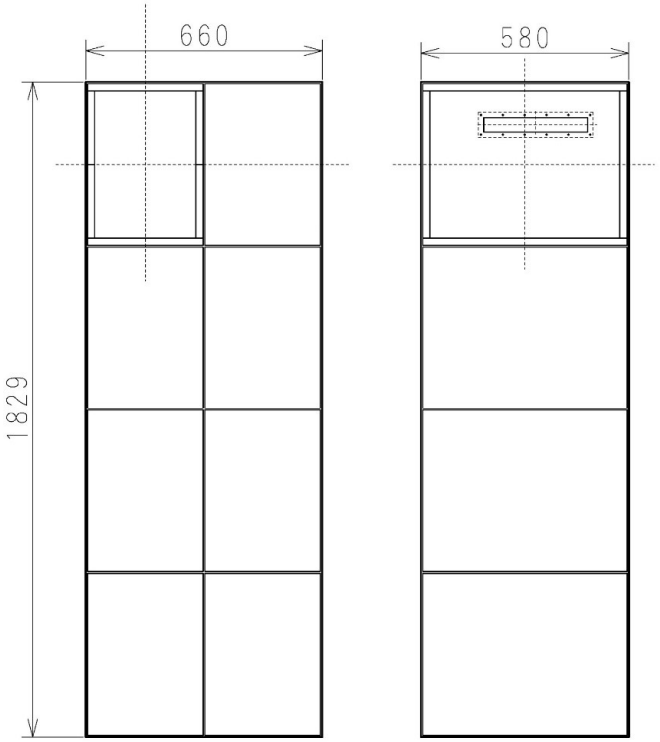


8系列実証機の設計

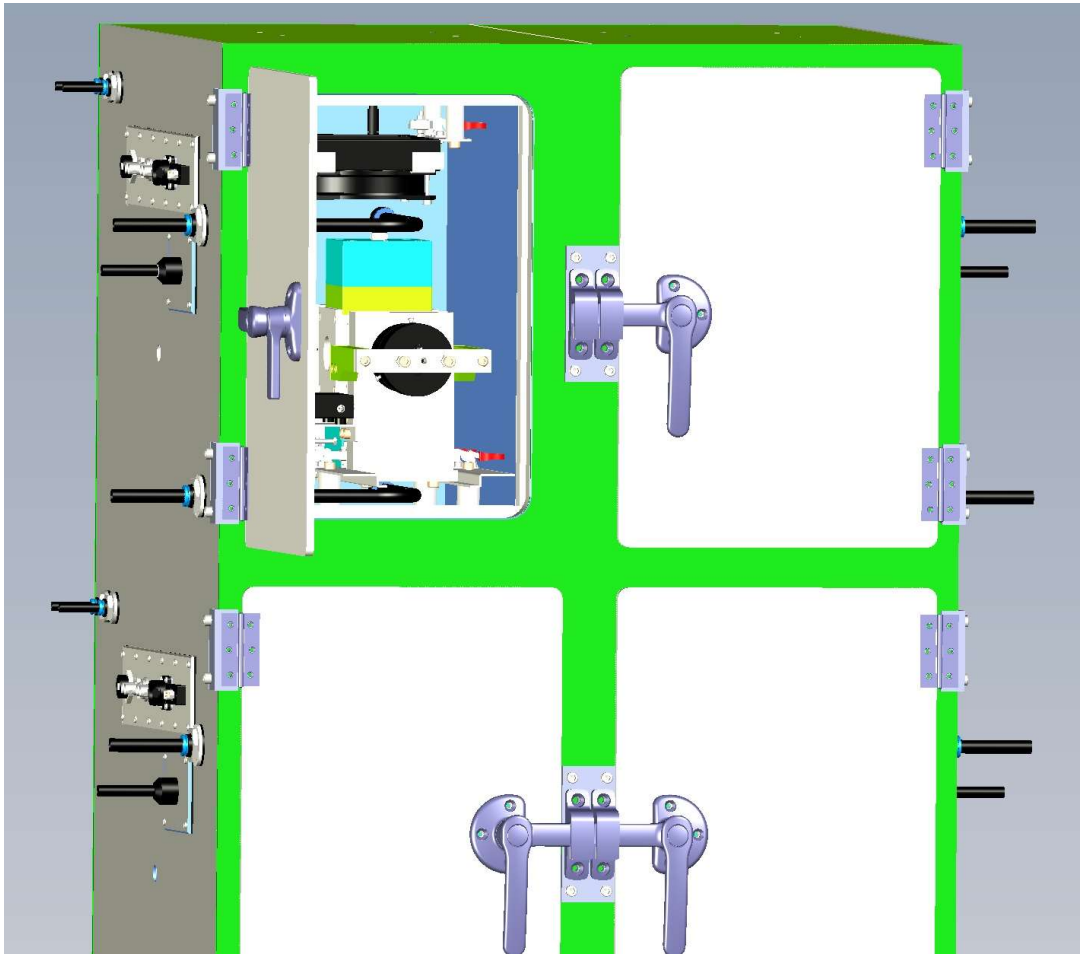

N2
8 並列
PW
Pump PW
CW
CW
CW
Measurement Unit
Measure ment Box
P
F
P
Measurement Unit
Measure ment Box
P
F
P
SC
SB
SA
Pump CW
Vent Tank
8 並列
Pump Sx
SA: Sample A
SB: Sample B
SC: Sample C
CW: Cleaning Water
PW: Purified Water

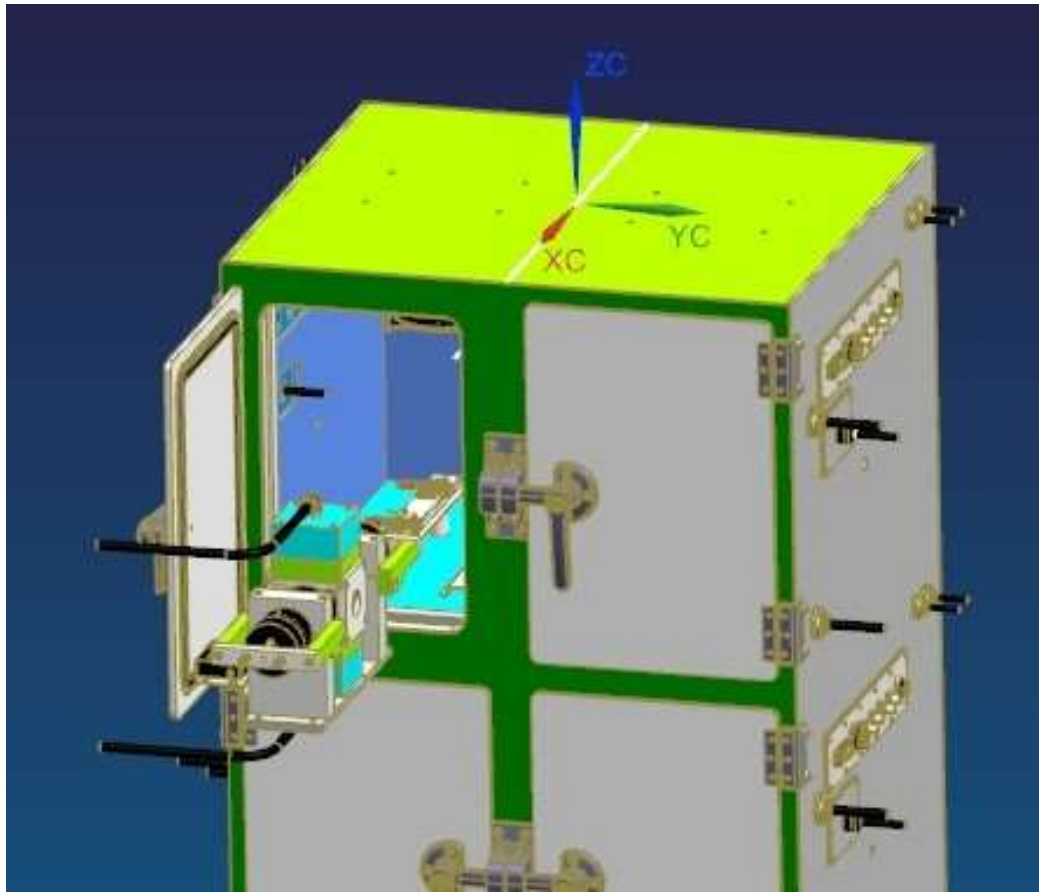
8系列実証機の設計



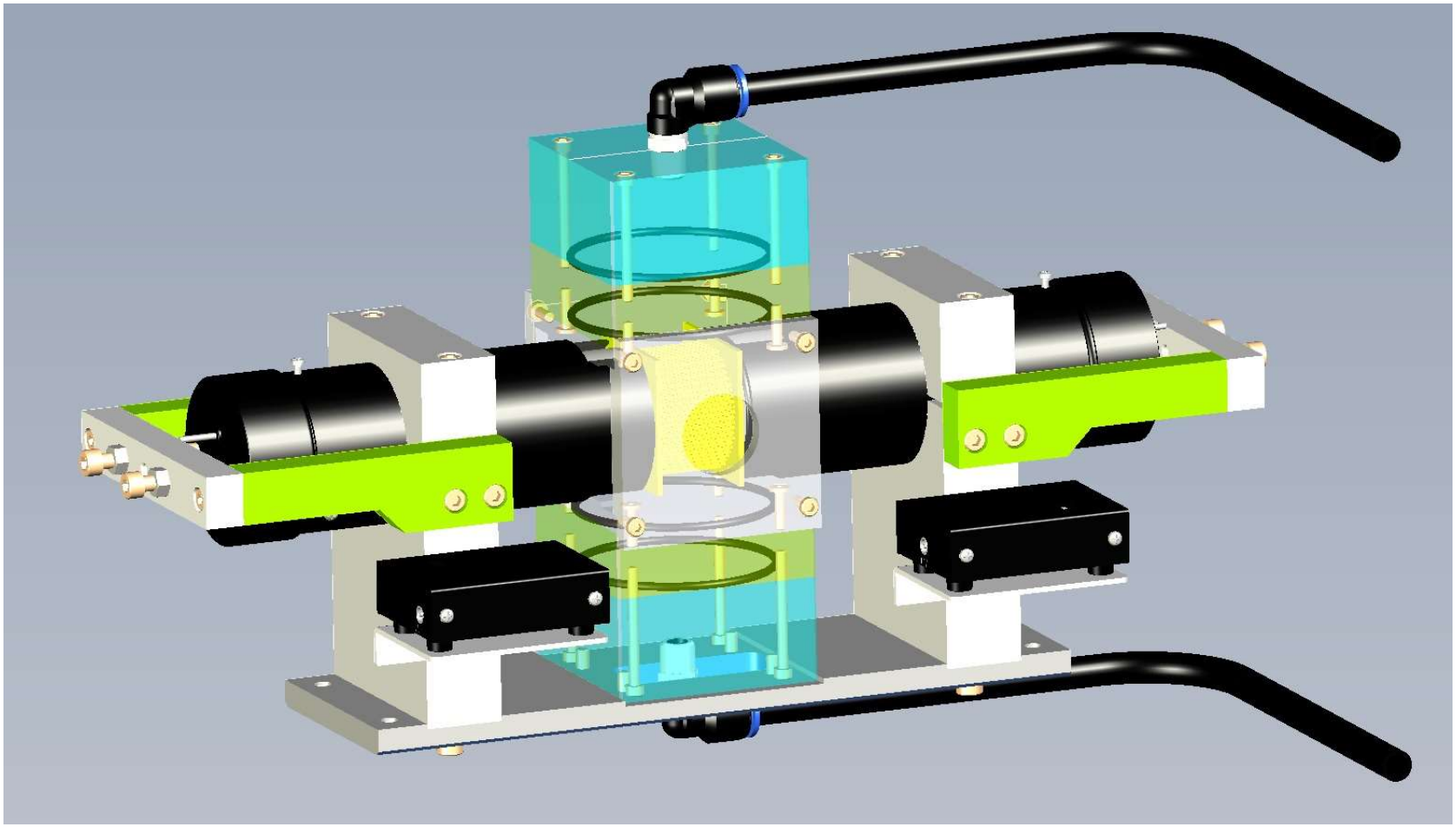


8系列実証機の設計

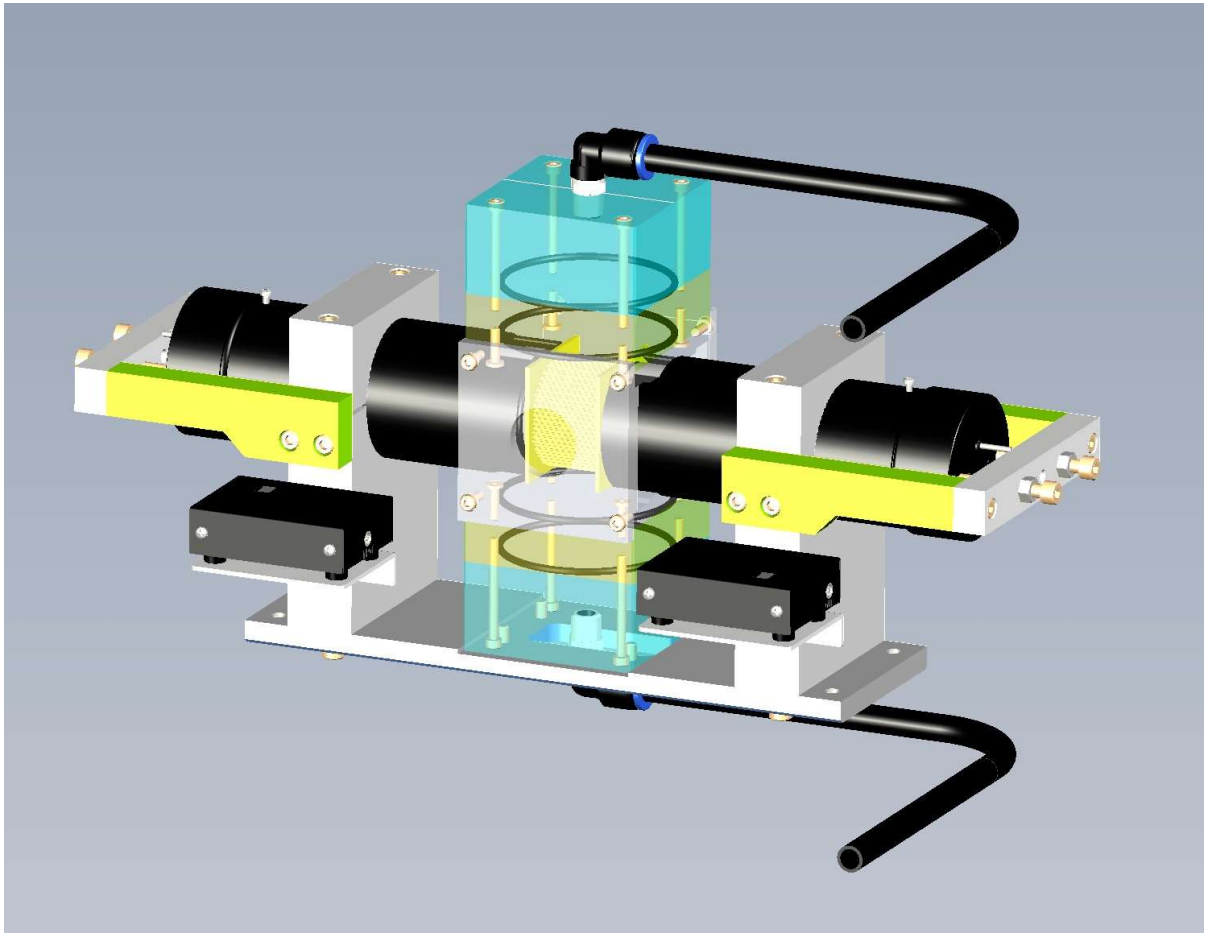




8系列実証機の設計



8系列実証機の設計



まとめと今後の課題

計測システム及び計測パラメータの最適化

→　積分強度の増大

計測時間の短縮

検出下限の低減　1500Bq/L達成

→　トリチウムの連続計測を可能とする

課題

＊ノイズ低減ー計数率の向上

→　計測室温及び計測試料温度の確保　0°C

＊試料注入時の雑音

→　試料注入方法の最適化（流速の低下）

＊海水希釈した試料の計測

・海水に含まれる不純物やバイオフィルムの付着

→　洗浄方法の確立・・洗浄試験機にて検証

→　1系列を常に洗浄・メンテナンスを行う

（残り7系列は計測を継続）

＊小型化に向けた検証（シンチレータサイズ・光電素子）