

高輝度 γ 線発生に向けた 衝突用100W級ファイバーレーザー立ち上げの現状

日本原子力研究開発機構
量子ビーム応用研究センター

森 道昭

報告内容

- JAEA(関西・木津)で立ち上げ中のレーザー装置
(100W級Ybファイバーレーザー)について
- レーザー移設・立ち上げの予定について

レーザー開発のスタッフ

- ・次世代レーザー開発研究Gr. (Ybレーザー(Thin-disk/Fiber)開発)
 - ・小菅 淳 (研究員(任期付)→4月よりKEK)
 - ・森 道昭(兼)
 - ・永島 圭介 (グループリーダー)
 - ・越智 義浩 (100W級kHzサブピコレーザー開発)
 - ・田中 桃子 (")
- ・高出力レーザー開発研究Gr. (Ti:Sapphireレーザー開発)
 - ・森 道昭(本)
 - ・岡田 大
 - ・桐山 博光 (グループリーダー)

原子核共鳴蛍光散乱

-Nuclear Resonance Fluorescence (NRF)-

Nuclear Resonance Fluorescence(NRF)

Target: 核物質の非破壊検査

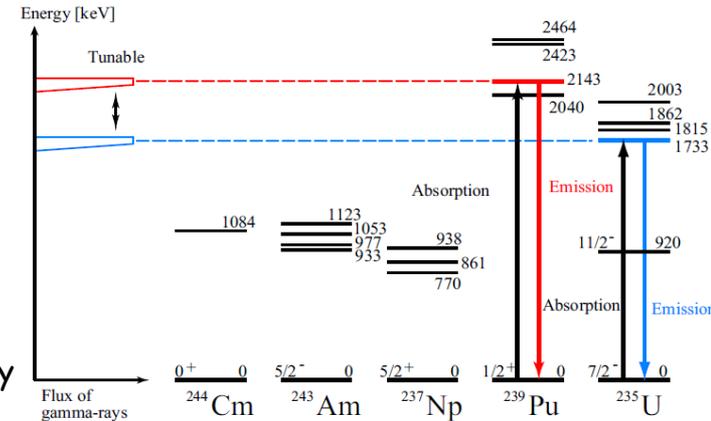
高い輝度・高い単色性のガンマ線が必要

Nuclear excitation

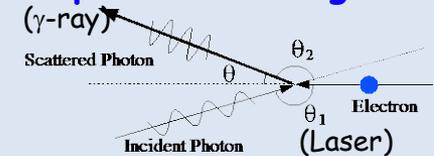
Excitation γ -ray
2143 keV



Fluorescence γ -ray
2143 keV



Inverse-Compton scattering

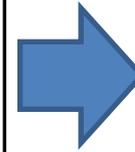
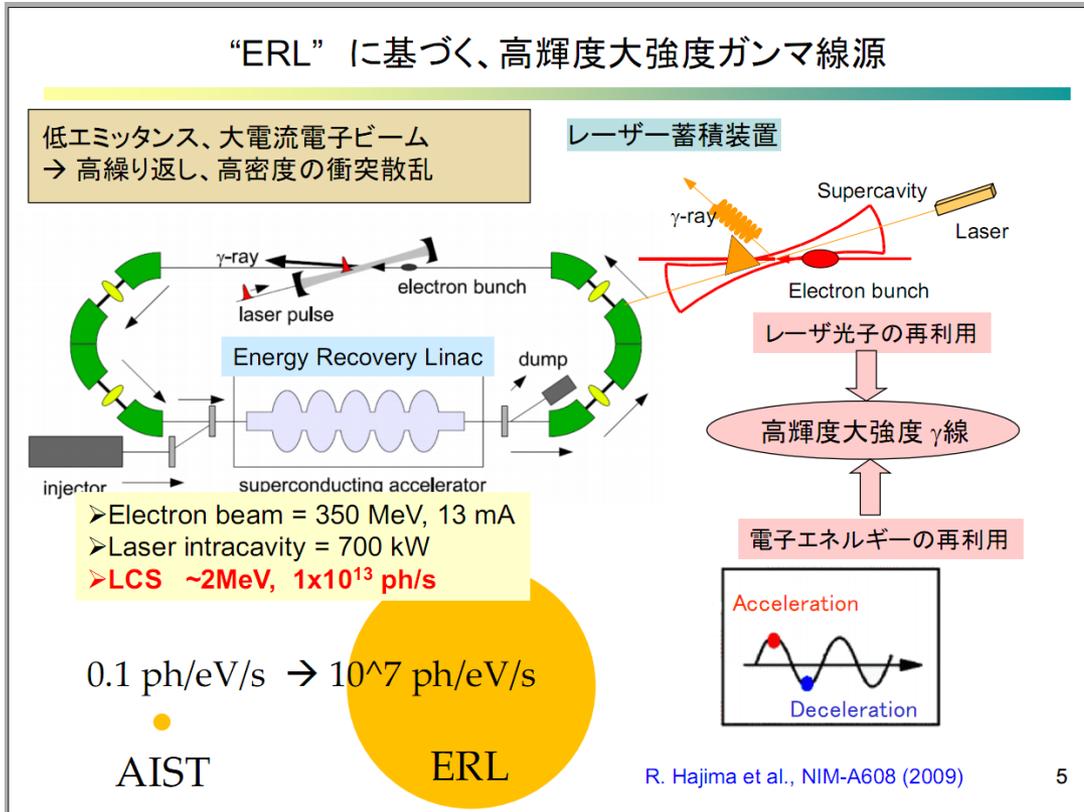


R. Hajima et al., J. Nucl. Sci. Technol. 45(5), 441 (2008)

T. Hayakawa et al., Nucl. Instr. Meth. A 621, 695 (2010)

- ・ ビーム状のガンマ線
- ・ エネルギー可変
- ・ 偏極(直線偏光) → 散乱光子のエネルギー分布の散乱角依存性で評価

レーザー開発のポイント



高い平均出力
高い繰り返しレート
高効率閉じ込め
高い単色性
高い同期性
+
高い信頼性
操作の簡便性



ファイバーレーザー
(基礎技術: 光通信)

羽島 第73回ERL検討会発表資料

レーザー開発の目標(本体関係)

○ High-average power

→ >100W

○ High-repetition rate

→ 81.25(162.5)MHz
(N=16 (8) for 1300/N MHz operation)

○ Narrow bandwidth

→ $\Delta\lambda/\lambda_0 < 10^{-3}$

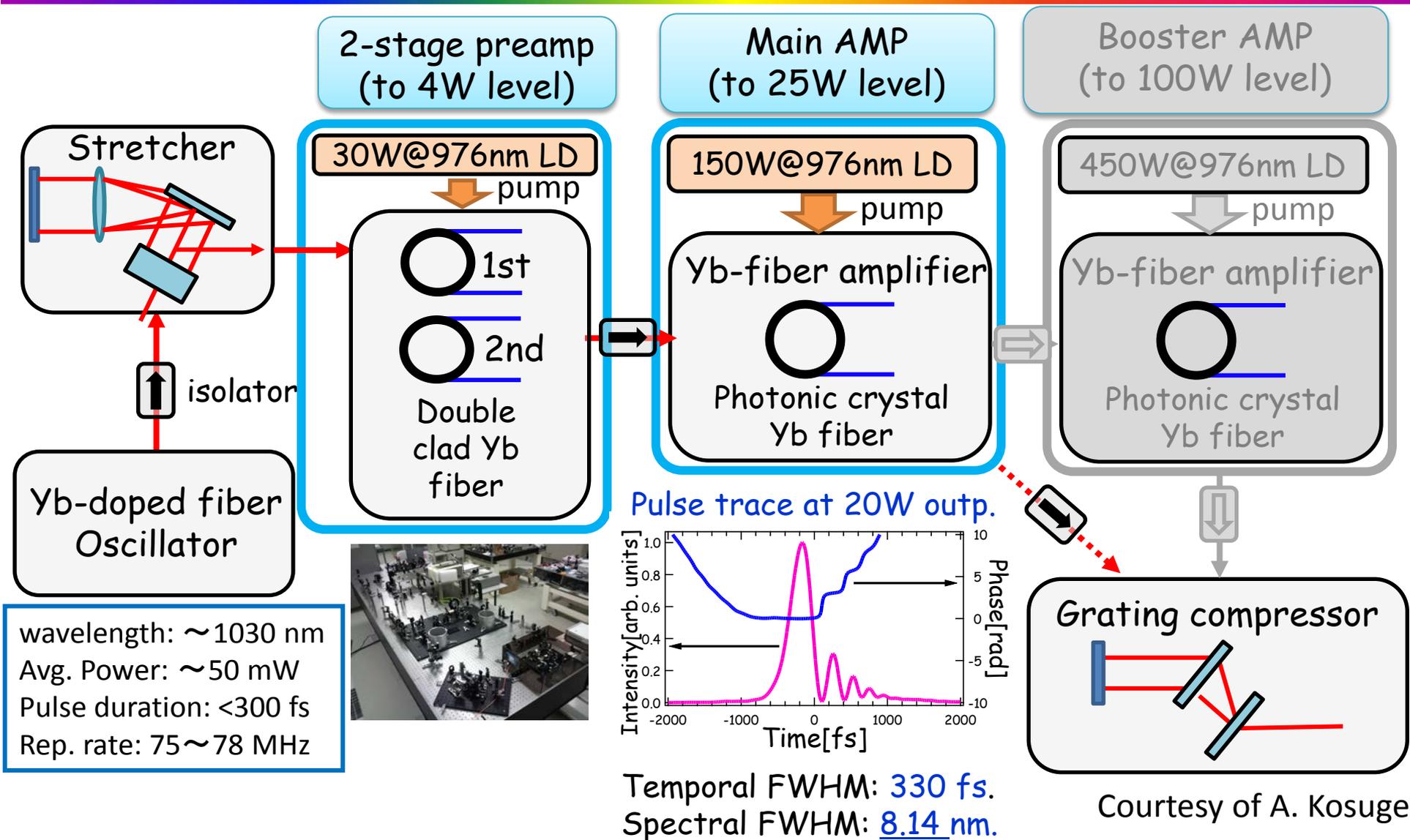
○ Precise synchronization

→ <1ps Jitter



信頼性・操作性・将来的な改良(e.g. >200W, $\Delta\lambda/\lambda_0 < 10^{-4}$, ...) などに対応できるようにマージンを大きくして開発

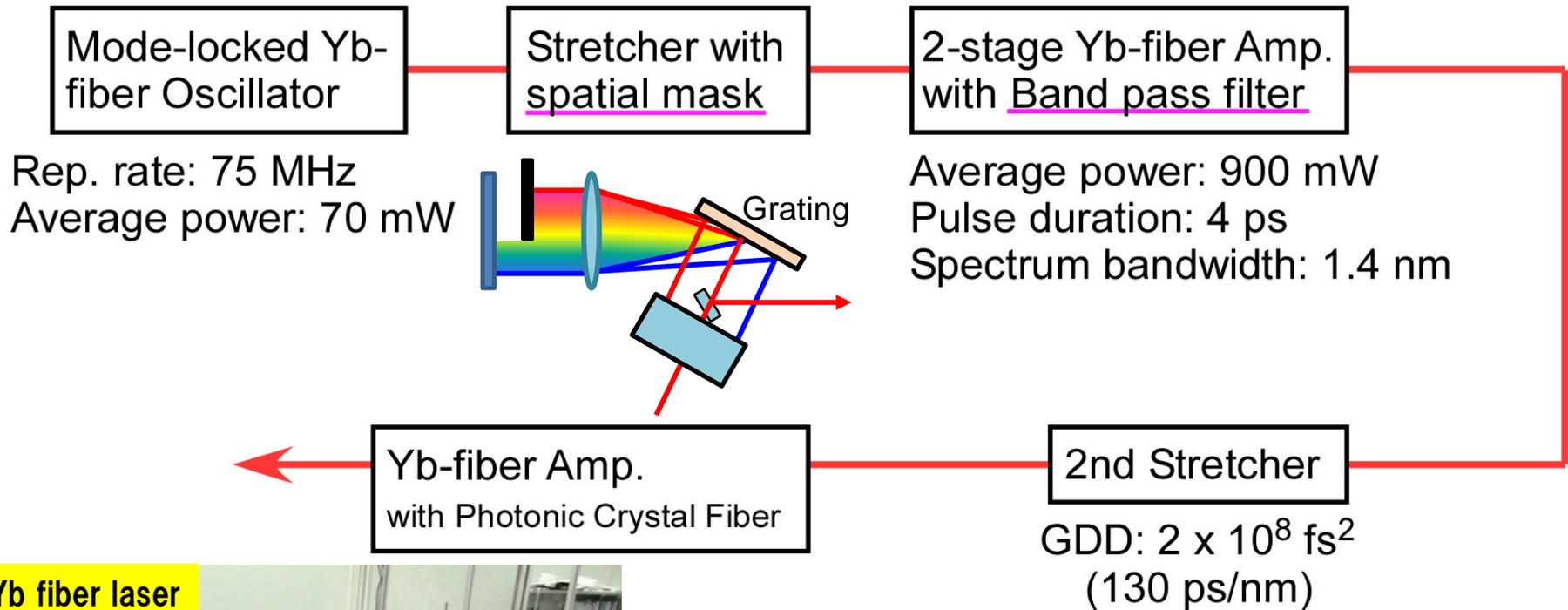
Yb-fiber CPA laser(最初期)



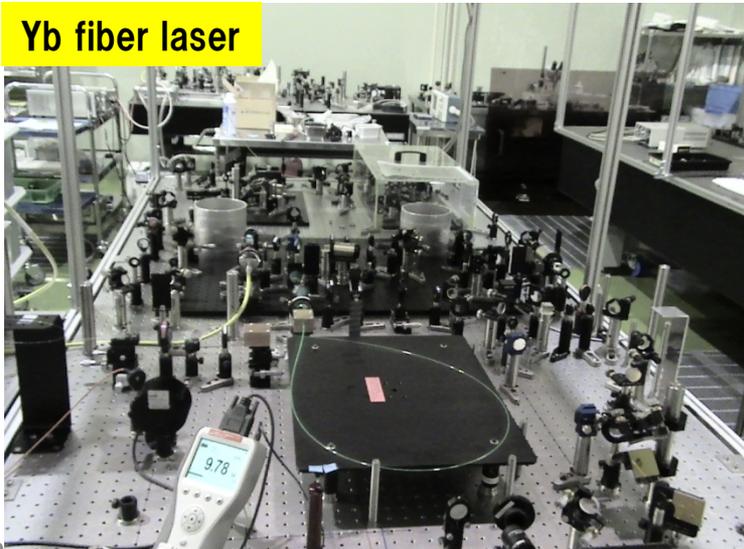
波長幅($\Delta\lambda/\lambda \sim 10^{-2}$) \rightarrow 狭帯域化が必要

Narrow band Yb-fiber laser system (Frontend)

Block diagram



Yb fiber laser



For narrowband operation, we prepared...

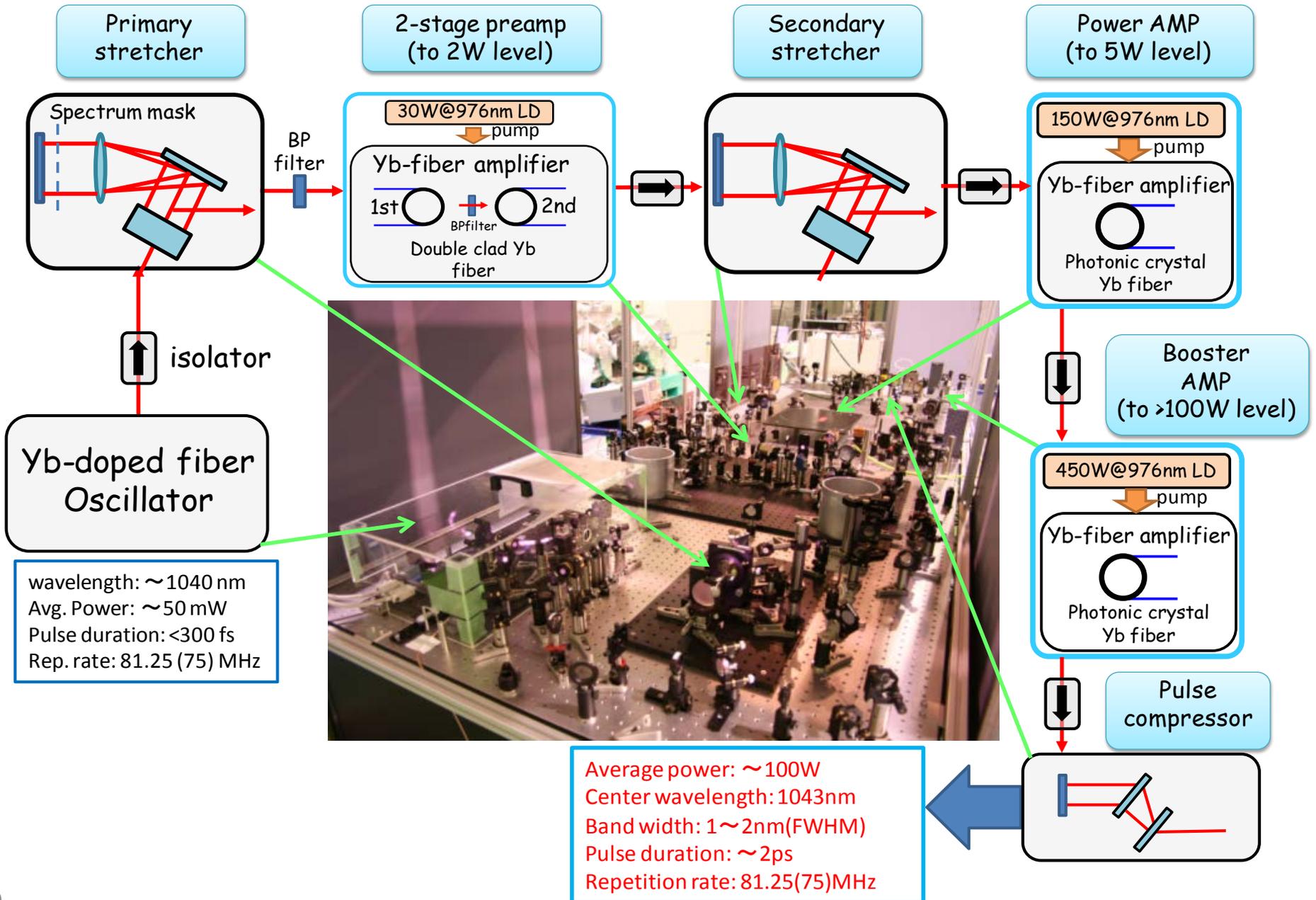
Suppress the broadband amplification

- Spectrum mask is installed into the pulse stretcher
- Narrowband filter is installed between amp chain

Avoid the spectrum broadening

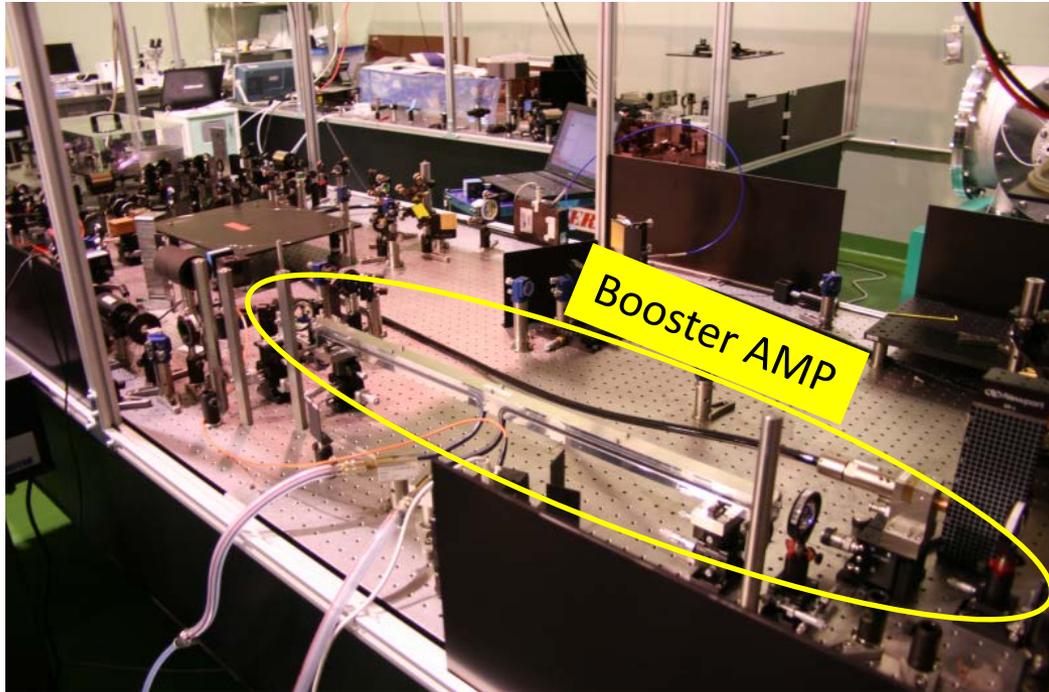
- 2ndary stretcher(x50 GDD of 1st stretcher)
(Suppress the nonlinear effect(i.e. Kerr effect))

100W-class Yb-fiber CPA laser system



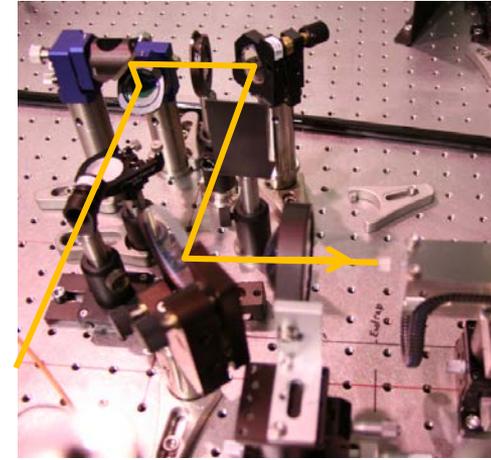
Booster AMP

全景

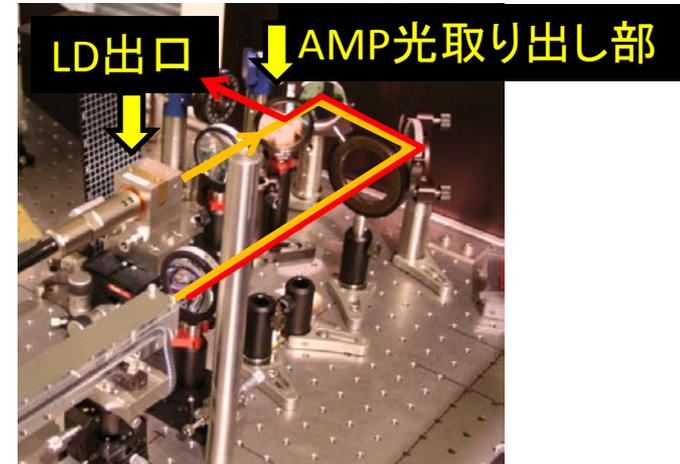


○ Ybドープファイバー全体を冷却(水冷)する構造
(但し、先端にはARコート付き保護窓が付いているため、この部分のみ露出)

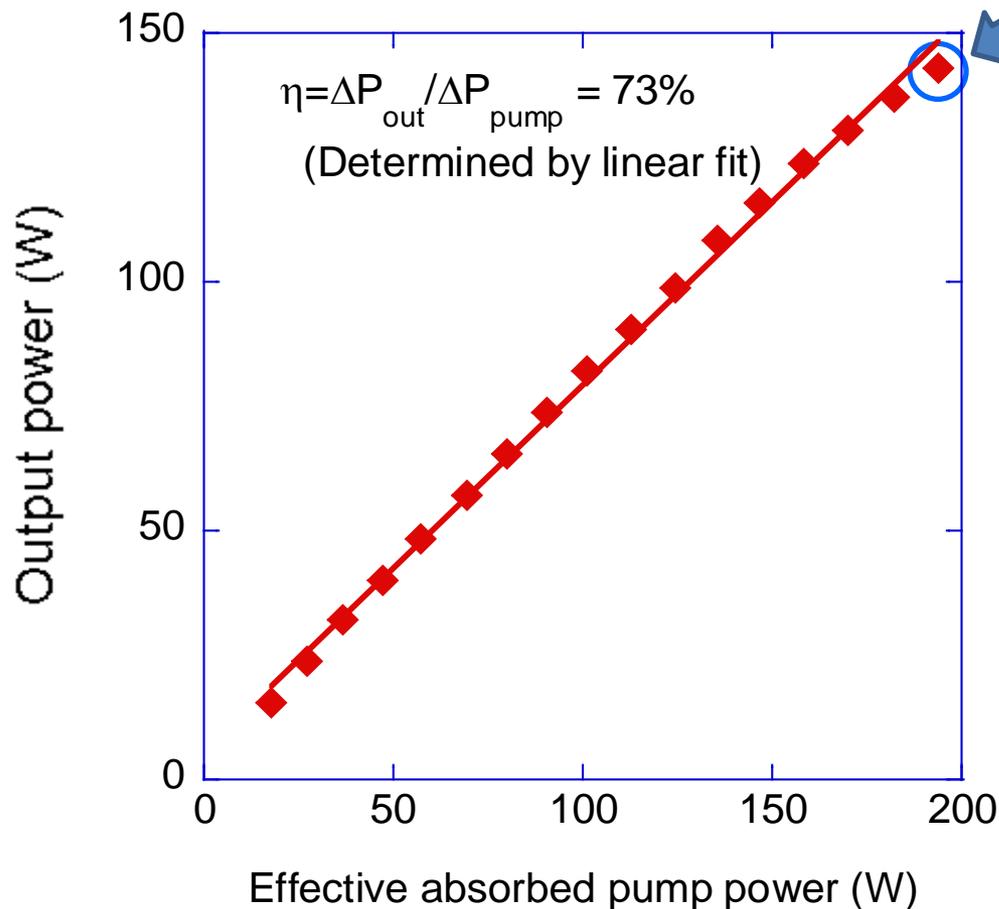
Seed光入射部周り



pump光入射/AMP光取り出し部周り

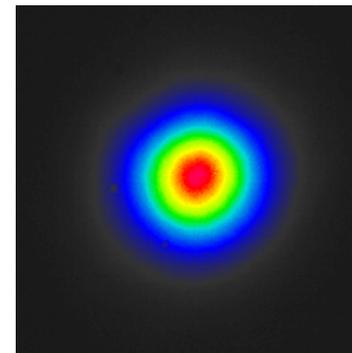


Booster AMP直後のレーザー光の概要

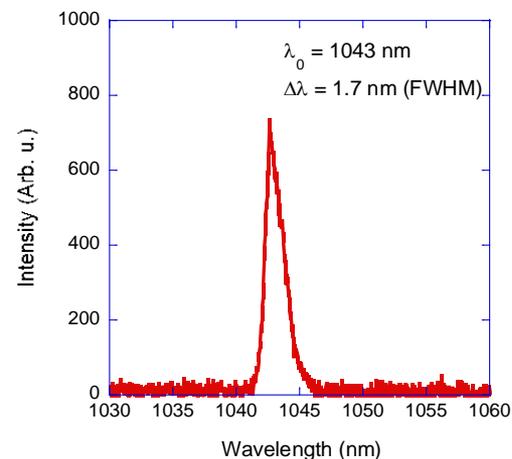


励起パワーに対する出力パワー

143W output/194W pump
(パルス圧縮後換算では110W)



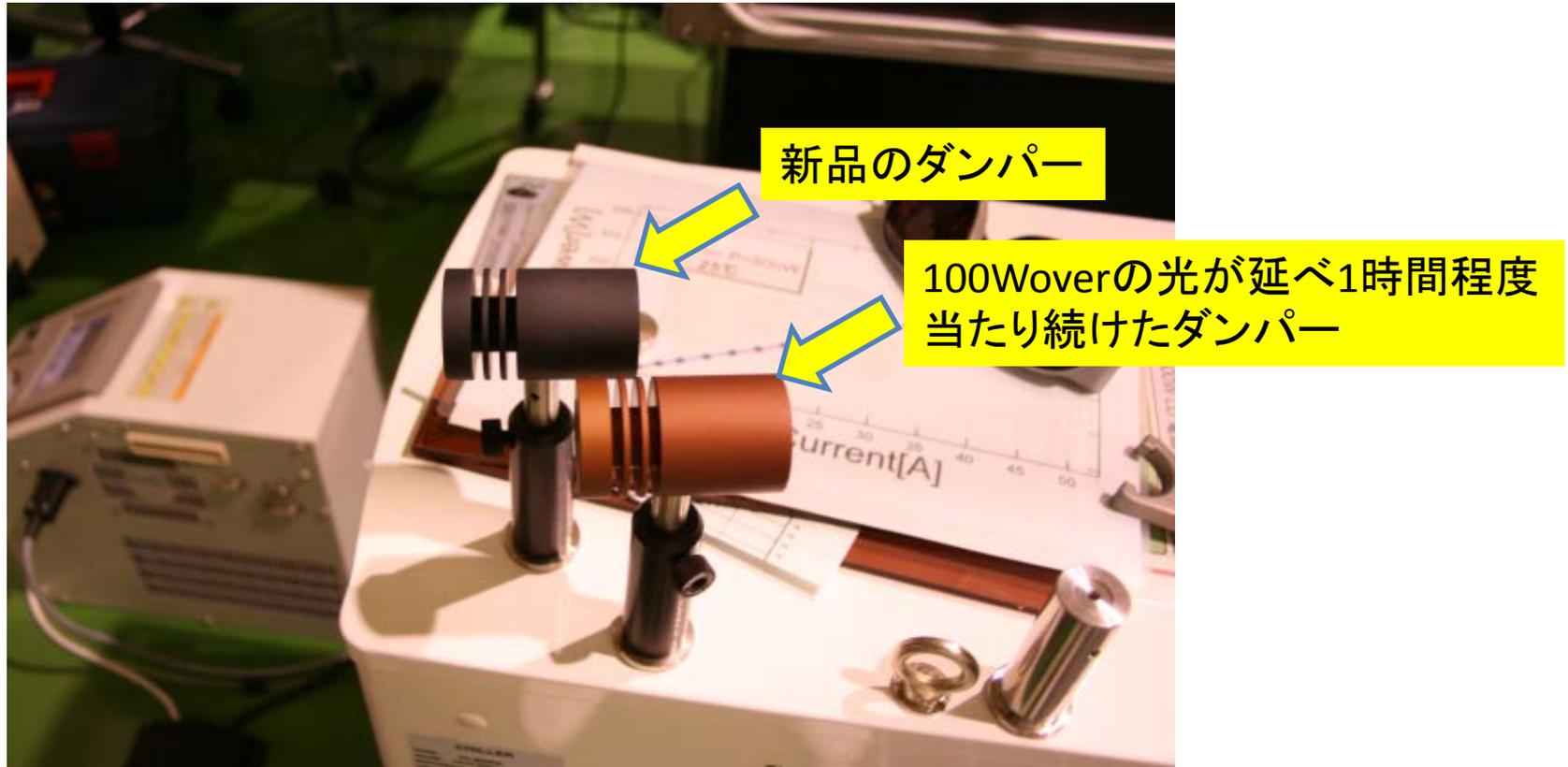
AMP直後のビームパターン
(770x775um(e^{-2} 直径)縦横比1.0:1.0)



スペクトル分布*

($\Delta\lambda/\lambda = 1.6 \times 10^{-3}$) *130W運転時

ちなみに...

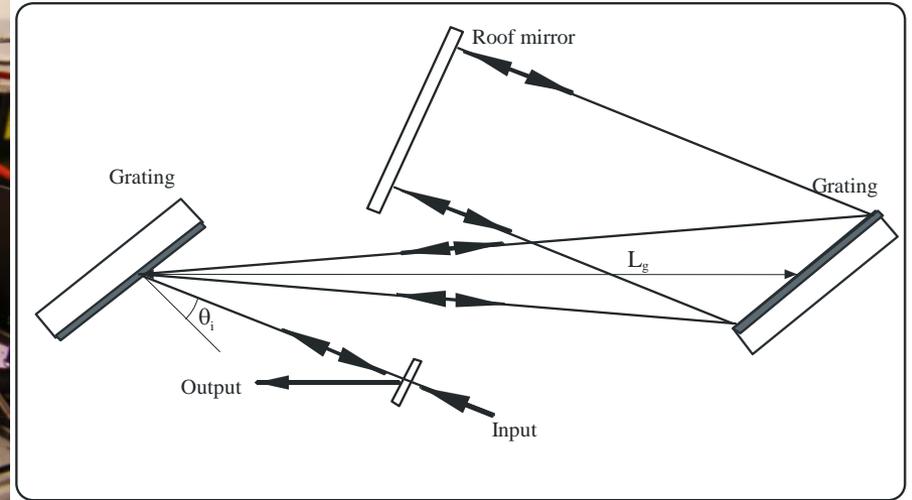
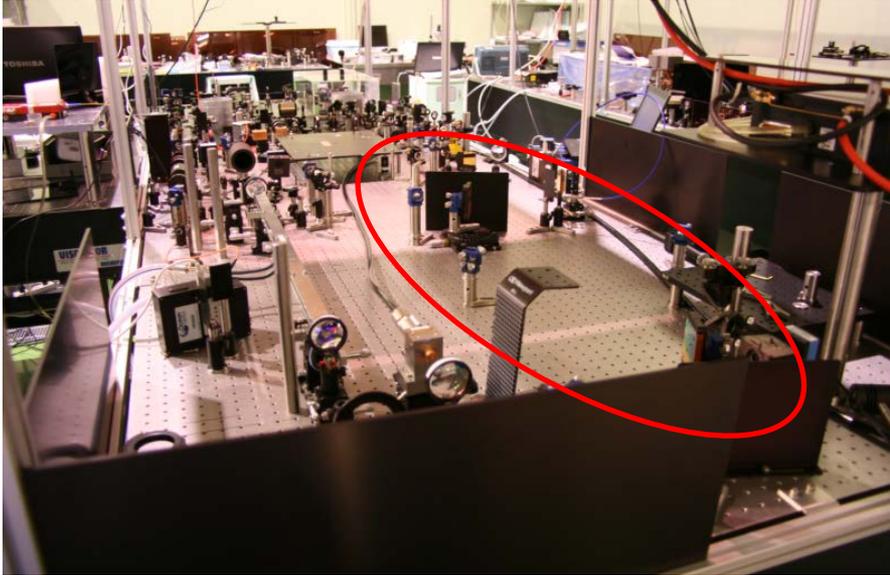


100Woverの光をビームダンパー(自然空冷式)でダンプ処理していたのですが、熱でアルマイトが変色を起こしてしまいました…。やはり処理には水冷or強制空冷が必要みたいです

パルス圧縮部

パルス圧縮部

(左側のコンポーネントはBooster AMP)



$$L_g=800\text{mm}, \theta_i \sim 59\text{deg}$$

反射型回折格子によるパルス圧縮(高分散の回折格子が作りやすい)

→ レーザーの信頼性確保のために高い方がよい(現在の設計は0.2nmまでの狭帯域に対応)

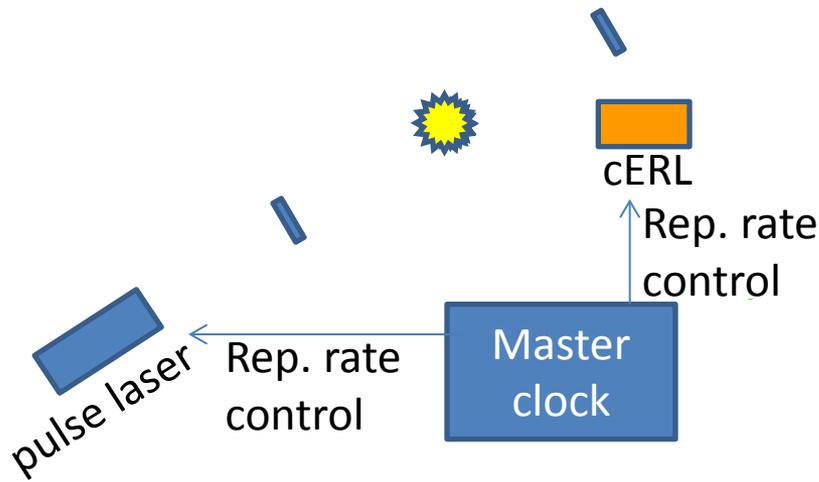
反射型回折格子によるパルス圧縮

→ ダメージ閾値が高いが、低分散

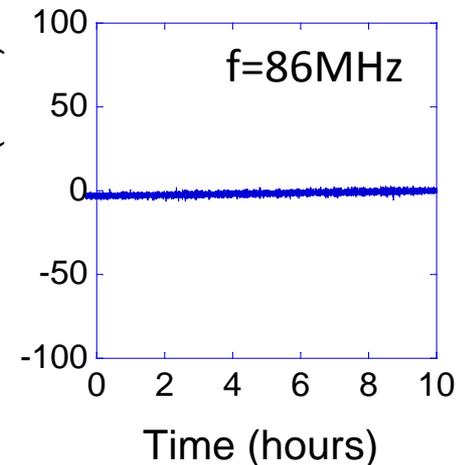
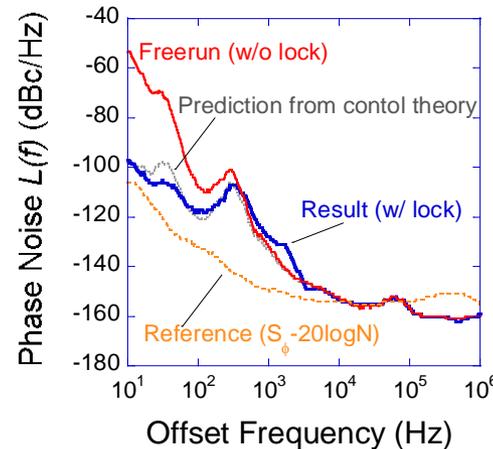
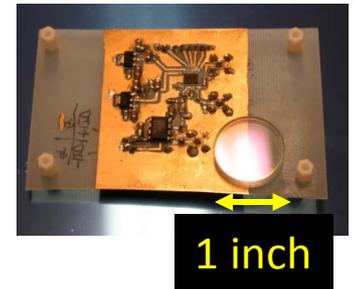
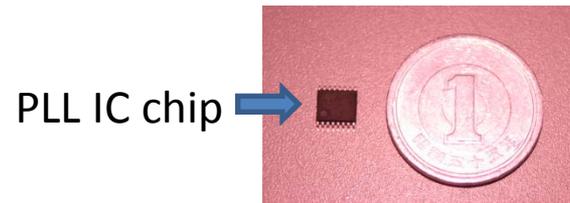
→ 耐久試験の結果で判断(透過型に変更した場合、設計上0.6nm程度までの対応)

関連開発① Jitterコントロール (市販品の調達と並行して自主開発)

→市販の通信用PLL素子を使って試験



Synchronization
between e-beams and photons



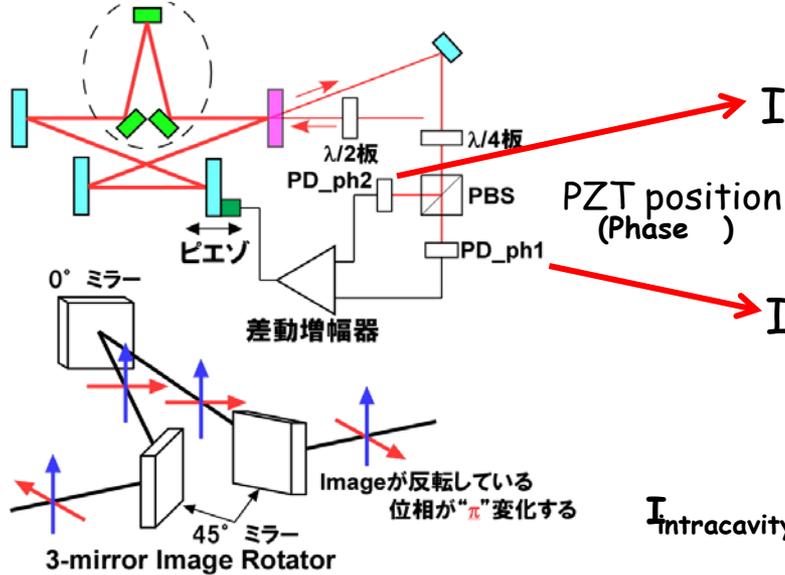
5 ps(RMS)@freerun(10-100kHz)
→0.18 ps@lock(10-100kHz)

>10 hours
hold time

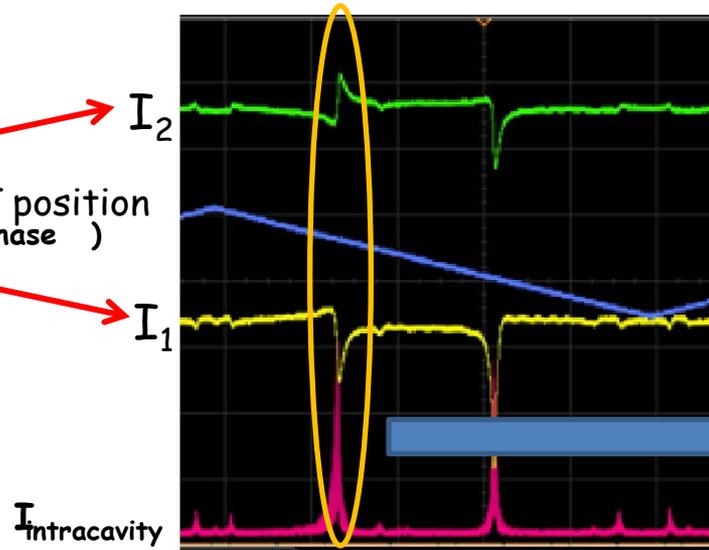
別室のTi:Sapphireレーザーで性能を確認

関連開発②直線偏光での光蓄積技術

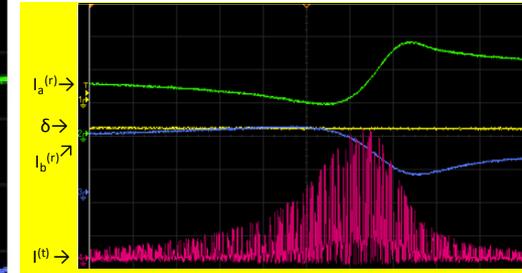
3-mirror Image Rotator



Results

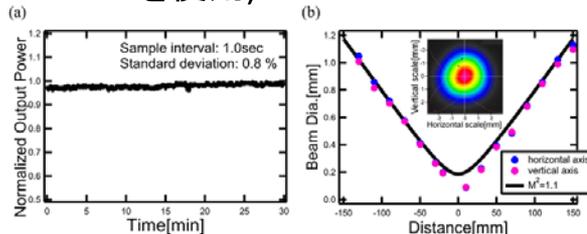


Zoom up



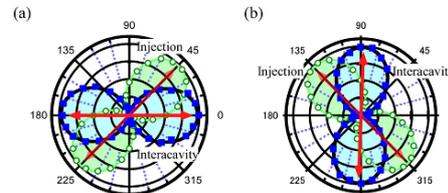
Keep $I_1 - I_2$: const

固定の安定性/ビーム性能の確認
(T=5% mirrorを使用)



リーズナブルな結果を確認
(安定性・閉じ込められた光の性質)

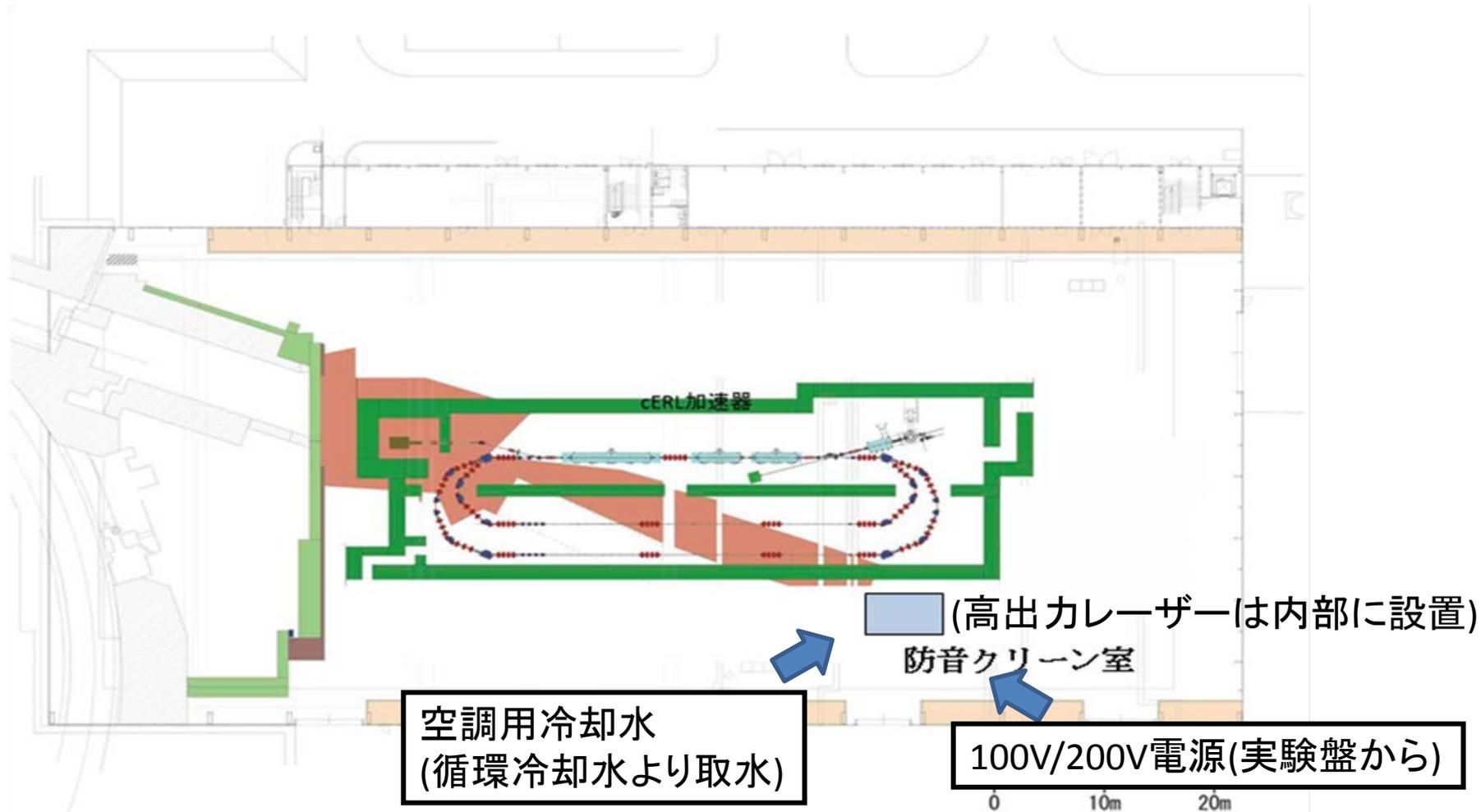
偏光状態
(偏光子を使って計測)



偏光状態(濃赤:入射光,薄赤:閉じこもった光の偏光)

→蓄積される光の偏光を設定値(入射の偏光 or cavity固定の設定値)を変えるだけでスイッチできる事も確認(核検認においてメリット)

レーザー移設に向けて(移設予定場所)



レーザー移設に向けて(レーザー立ち上げまでの大まかな予定)

～10月末

レーザー導波路整備

9月末～

レーザー装置引っ越し

10月末

防音クリーンユニット完成(見込み)

12月上旬

高出力レーザー試運転

まとめ

- High-average power
 - 目標: >100W(目標値)
 - 現状: 110W(パルス圧縮後換算)
(まだpumpの余力あり)
- High-repetition rate
 - 目標: 81.25/162.5 MHz
 - 現状: ~80MHz(75~78MHz)
(81.25MHzはcavity長さの調整のみで対応可)
(162.5MHzは現在立ち上げ中)
- Narrow bandwidth
 - 目標: $\Delta\lambda/\lambda_0 < 10^{-3}$
 - 現状: $\Delta\lambda/\lambda_0 < 1.6 \times 10^{-3}$
(狭帯域フィルターの選択で対応可・設計上の狭帯域の下限は0.2nm)
- Precise synchronization
 - 目標: <1ps Jitter (RMS)
 - 現状: 0.18ps (10Hz-100kHz)
(模擬レーザー(Ti:Sapphireレーザー)での性能)



現在:レーザー引越し準備とパルス圧縮部(耐久試験)・
160MHz繰り返し対応に向けた発振器の立ち上げを中心に展開中