



CANDLES実験のための ^{48}Ca 同位体濃縮の研究：
大強度Deflection Laserの作成に向けた
FP-LDに対する注入同期の評価

大阪大学 理学研究科
谷川秀憲

2025/03/07

第一回若手研究会

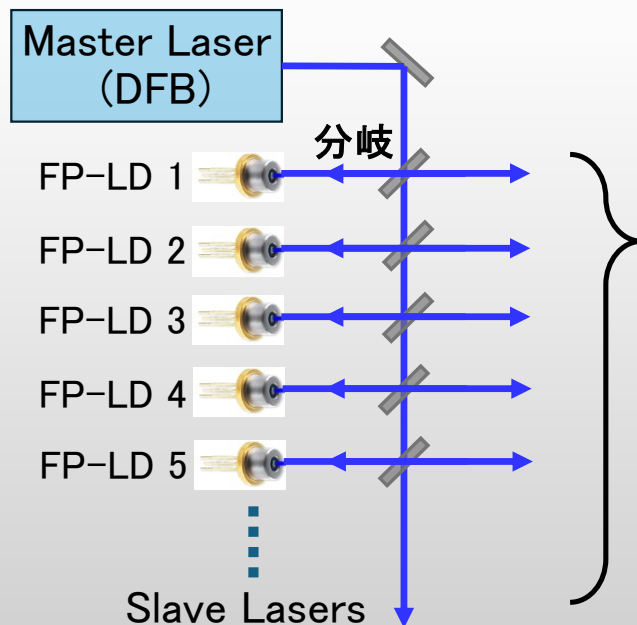
～CANDLES実験 ($0\nu\beta\beta$ 崩壊探索)～

^{48}Ca 濃縮(分離)手法

✦ **Ca ビーム**に対して水平方向から
 ^{48}Ca のみ運動量を与える波長のレーザーを照射.

=> 偏光した ^{48}Ca を別角度で回収する.

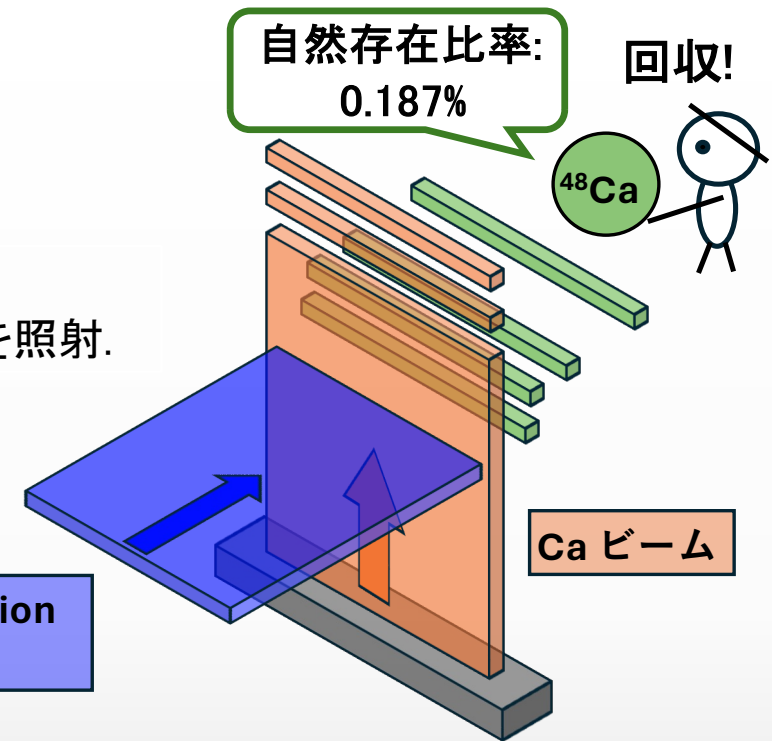
～Deflection Laser System～



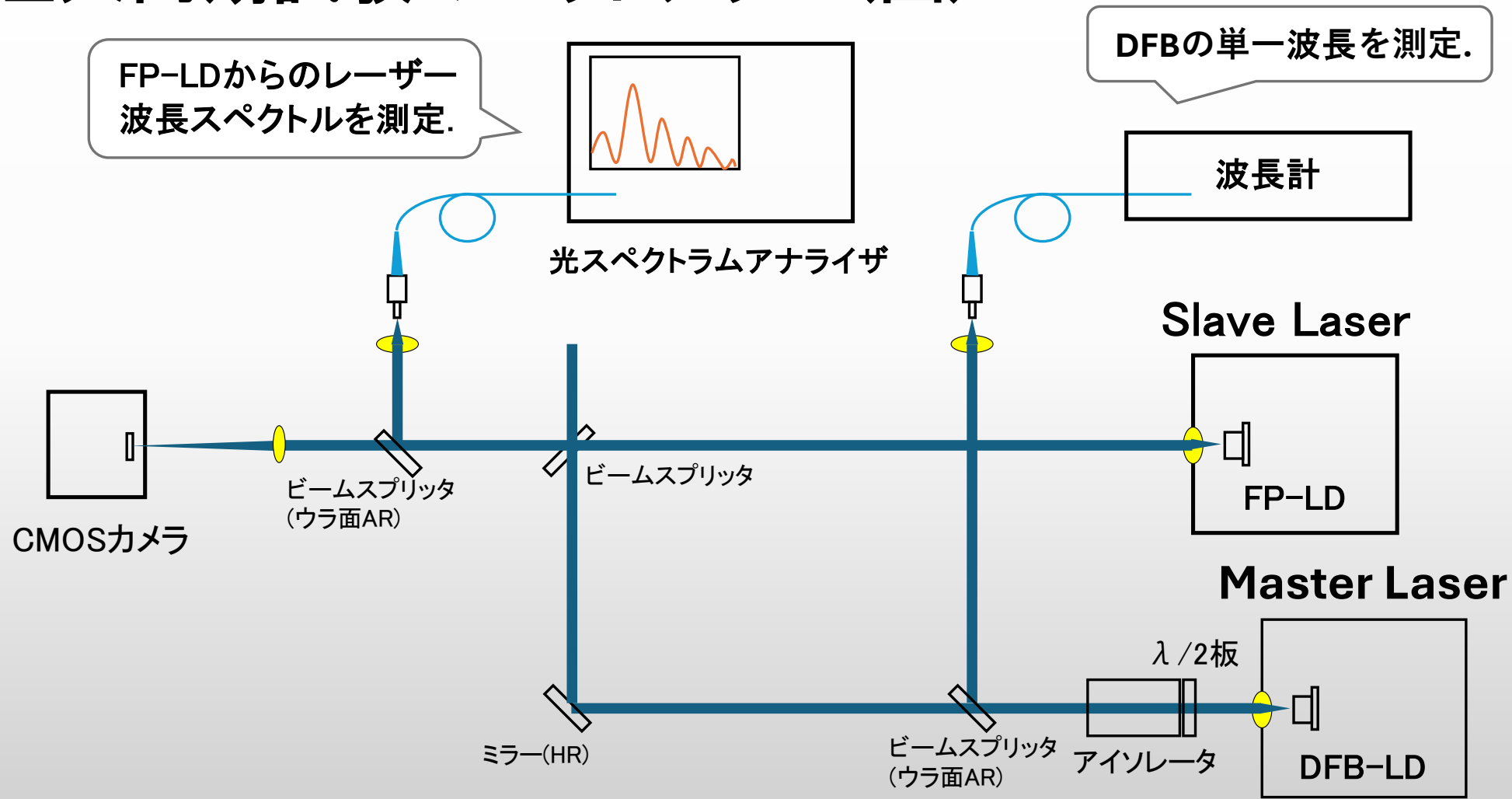
大量の同位体濃縮に向けて、
高強度でかつ**横方向に広いレーザー**が必要.

✦ 分岐したMaster Laser光が注入されたFP-LDでは...

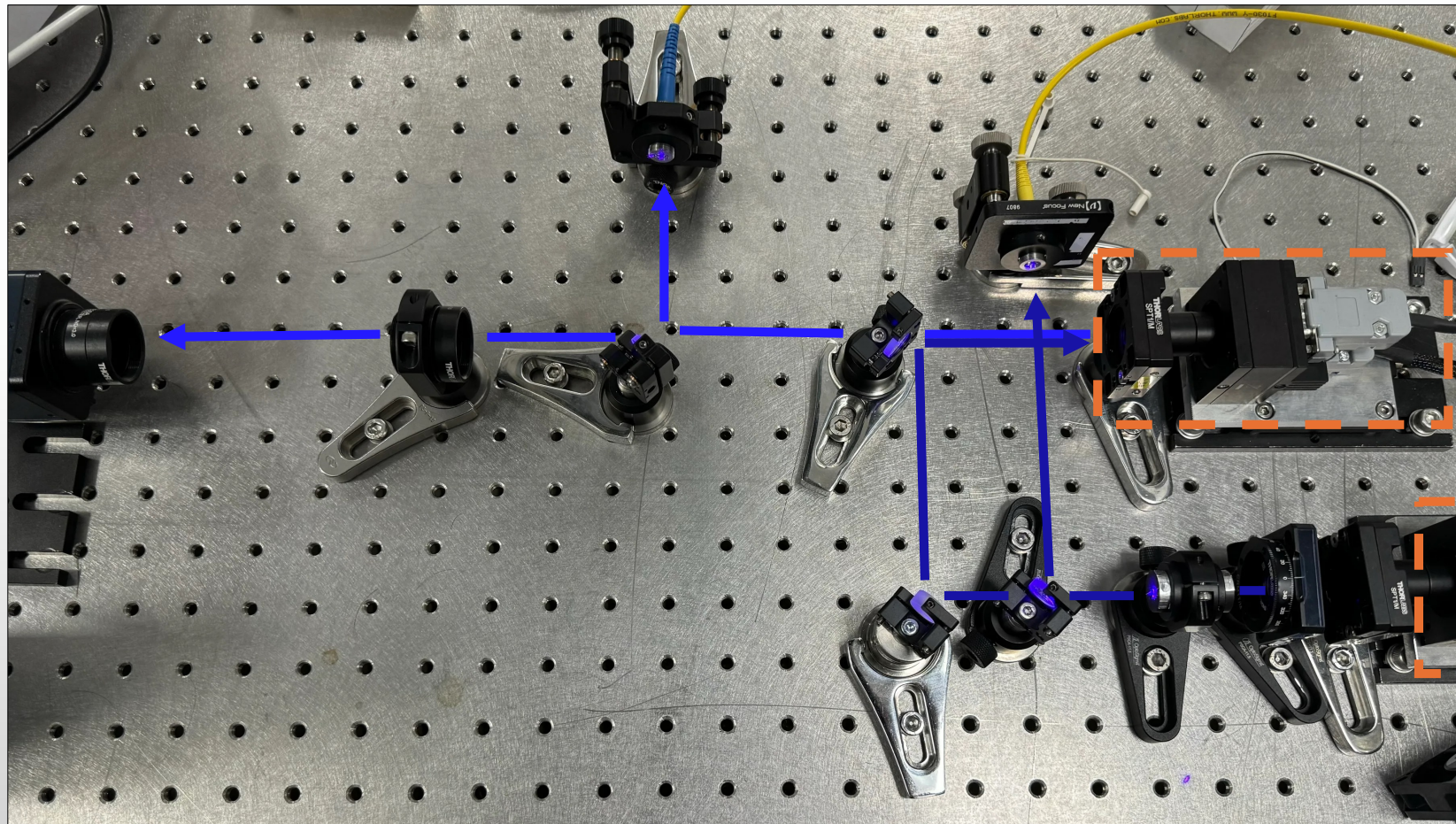
『注入同期』という現象により、外部光と同じ波長で増幅が起こる.



注入同期試験のセットアップ (図)



注入同期試験のセットアップ (実際)



Single FP-LD
(Slave-LD)

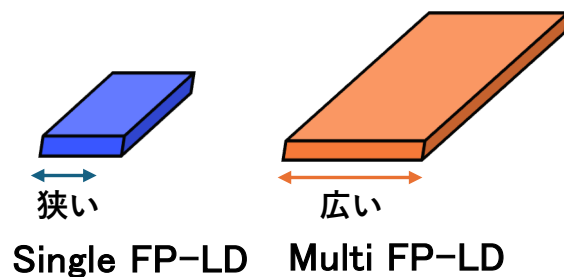
DFB-LD
(Master-LD)

評価対象のFP型半導体レーザー（4種類）

✦ 注入同期の『調整難易度』と『電力変換効率』の観点から評価を行った。

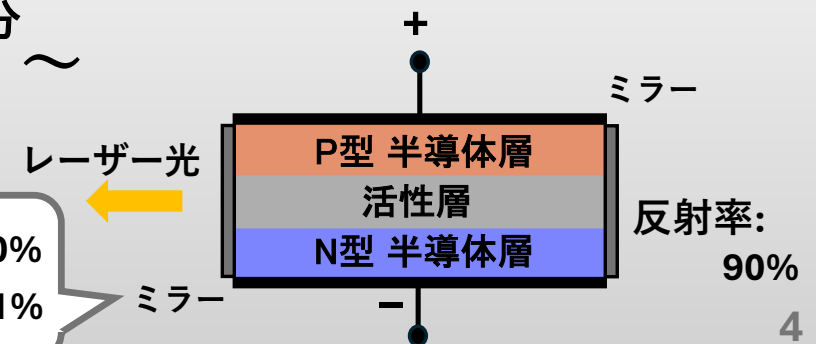
LD種	共振器のミラー部分 コーディング	Typical 電流値	注入DFB波長
Single FP-LD	< 40%/90%: 通常コート	150 [mA]	406.2 [nm]
Single FP-LD	< 1%/90%: ARコート	150 [mA]	406.2 [nm]
Multi FP-LD	< 40%/90%: 通常コート	475 [mA]	408.3 [nm]
Multi FP-LD	< 1%/90%: ARコート	475 [mA]	408.3 [nm]

ストライプ幅

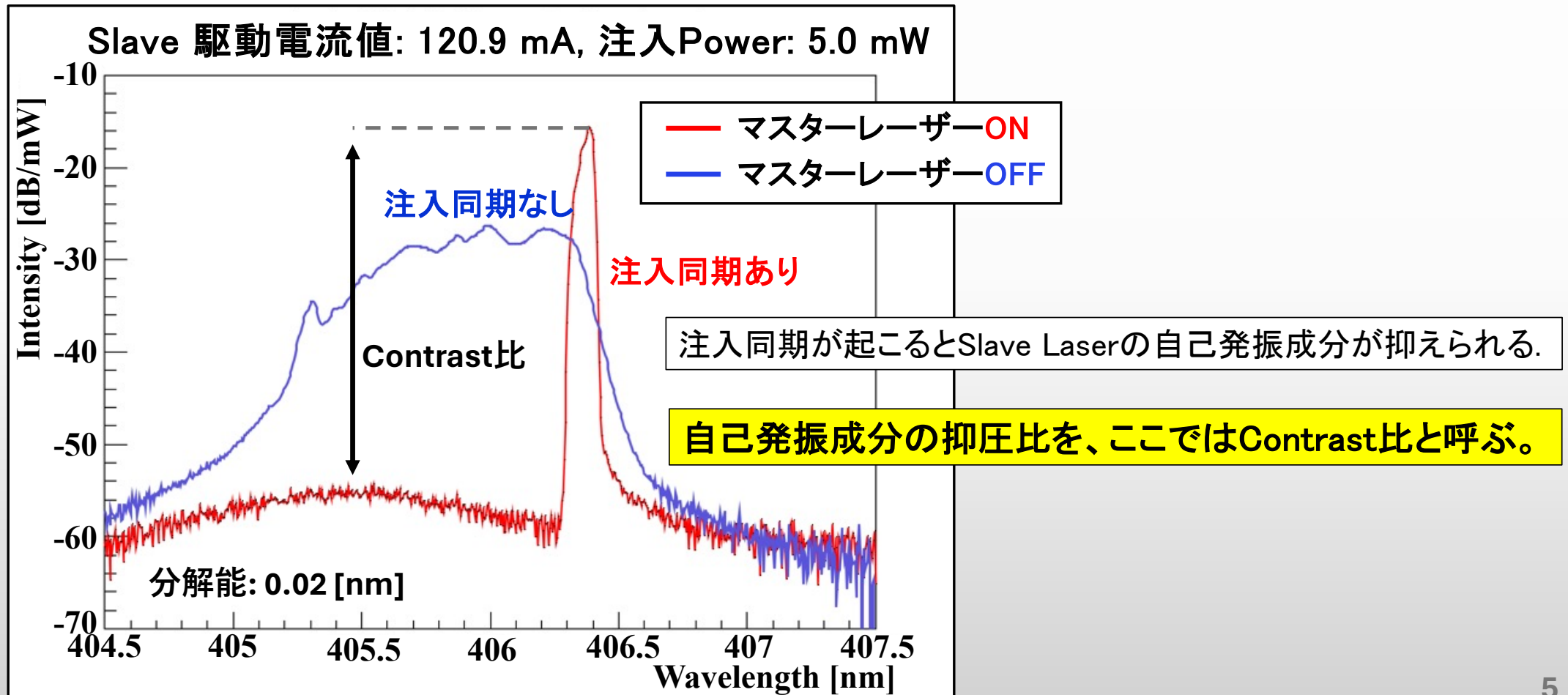


～ 共振器のミラー部分
コーディング ～

反射率 { 通常コート: 40%
ARコート: 1%

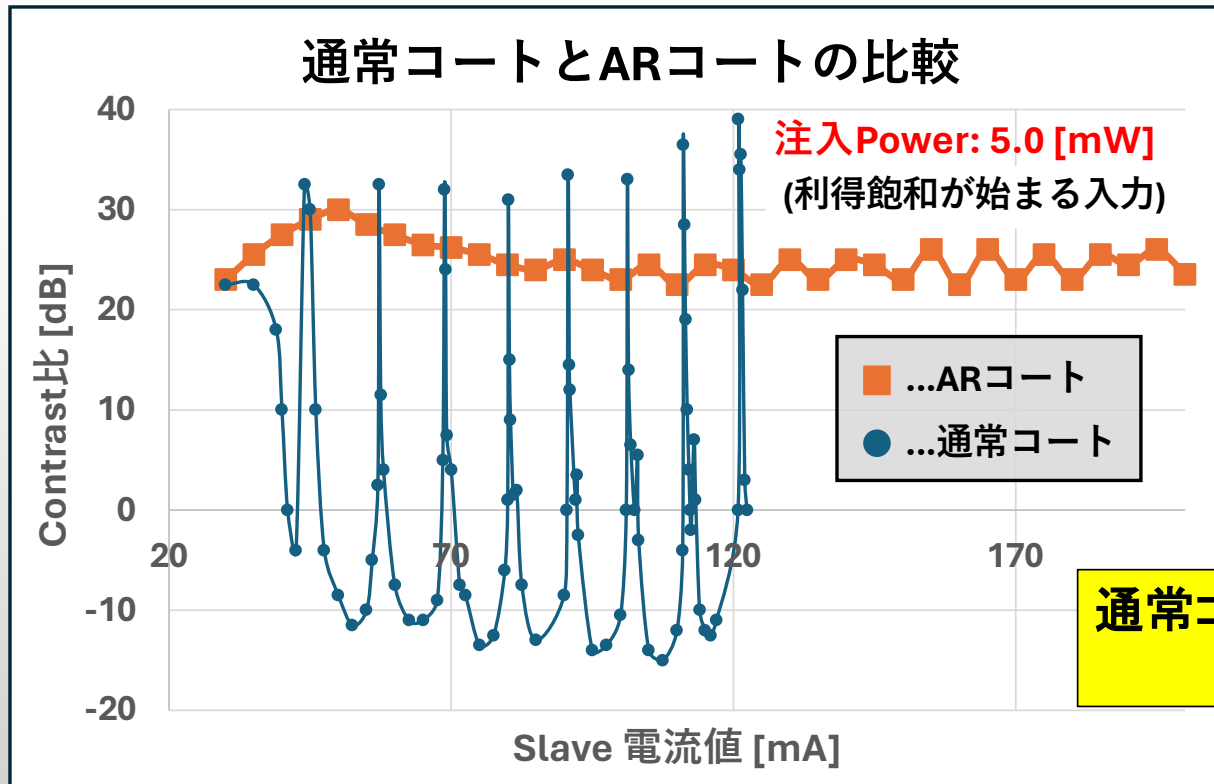


Single FP-LD(通常コート) スペクトル.



Single FP-LD Contrast比の電流依存性.

- ✦ Single FP-LD(通常コート): 周期的にContrast比が上昇する.
- ✦ Single FP-LD(ARコート): 安定したContrast比を保つ.



波長シフトの同期範囲:

(Contrast比 ≥ 25 [dB])

通常コート品: 1.1 [pm]
ARコート品: 20.5 [pm]

通常コートは注入同期の調整難易度が高く,
Deflection Laserの作成に適していない.

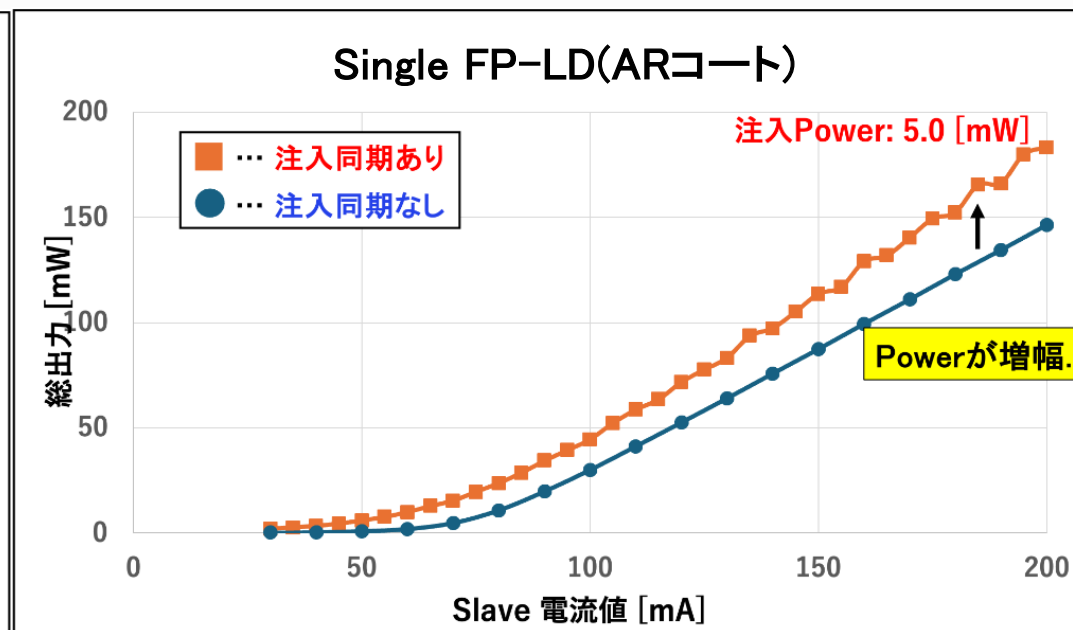
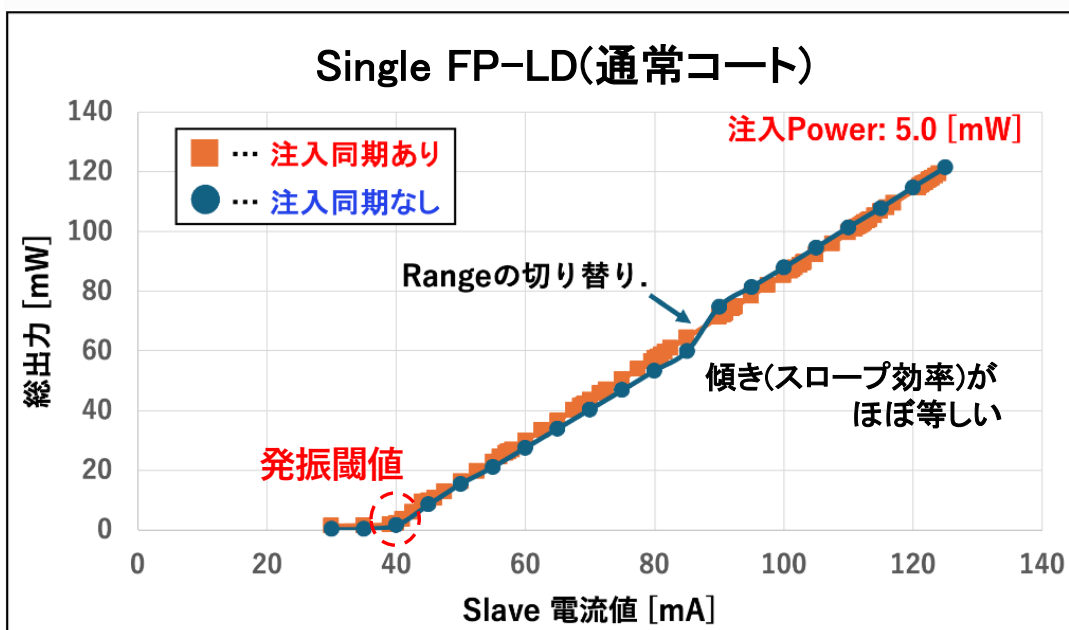
Single FP-LD 出力特性の評価.

$$\text{スロープ効率} = \frac{\text{総出力}}{\text{Slave 駆動電流} - \text{発振閾値}}$$

- ✦ スロープ効率: 閾値以上の電流を流したときの光出力の増加割合
- 通常コート: 1.37 [mW/mA]
 - ARコート: 1.40 [mW/mA]

共振器内の

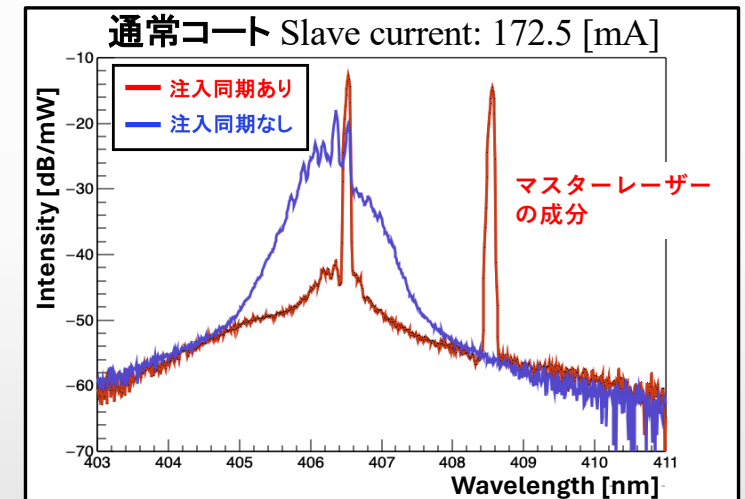
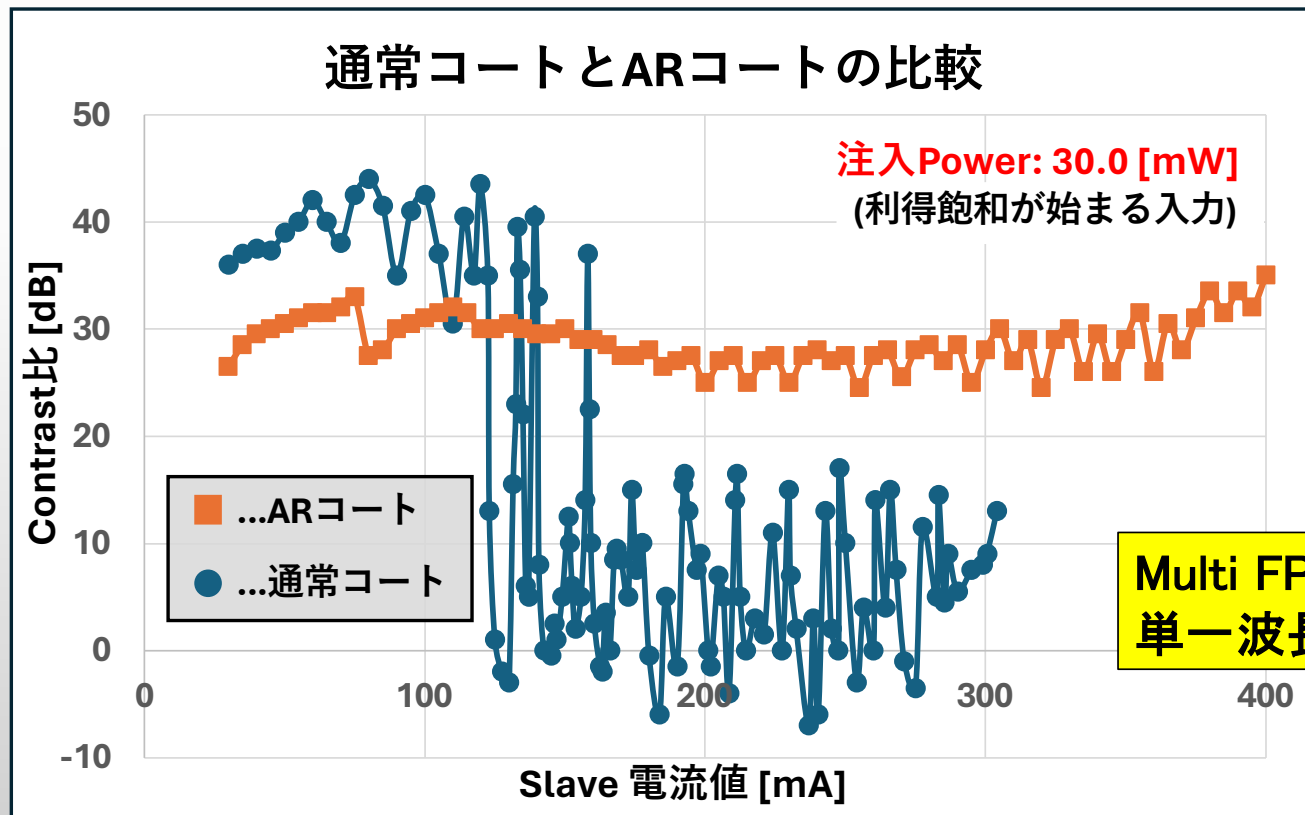
フィードバック光を増加させるとARコート品でも通常コート品に近いスロープ効率をもつ.



Multi FP-LD Contrast比の電流依存性.

(複数モードで発振する)

- ✦ **Multi FP-LD(通常コート)**: 高電流側では, Single ModeのDFB-LDでは抑えられない縦モードが存在.
- ✦ **Multi FP-LD(ARコート)**: Single(ARコート)と同様に増幅器(SOA)に近い挙動が現れている.



Multi FP-LD(通常コート)は,
単一波長のレーザー光の増幅に適していない.

Multi FP-LD 出力特性の評価.

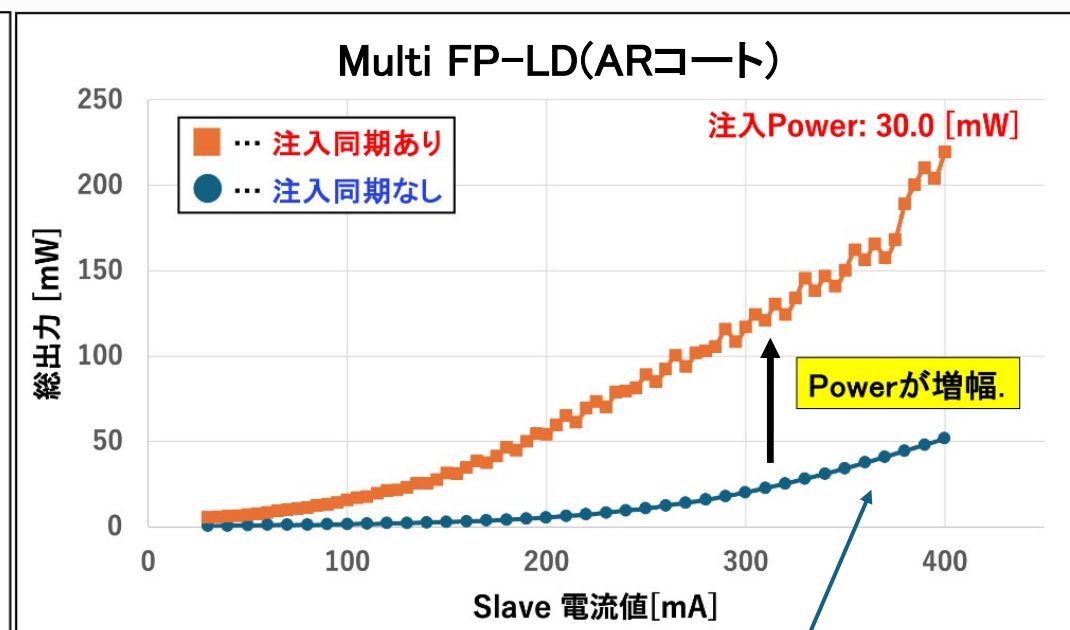
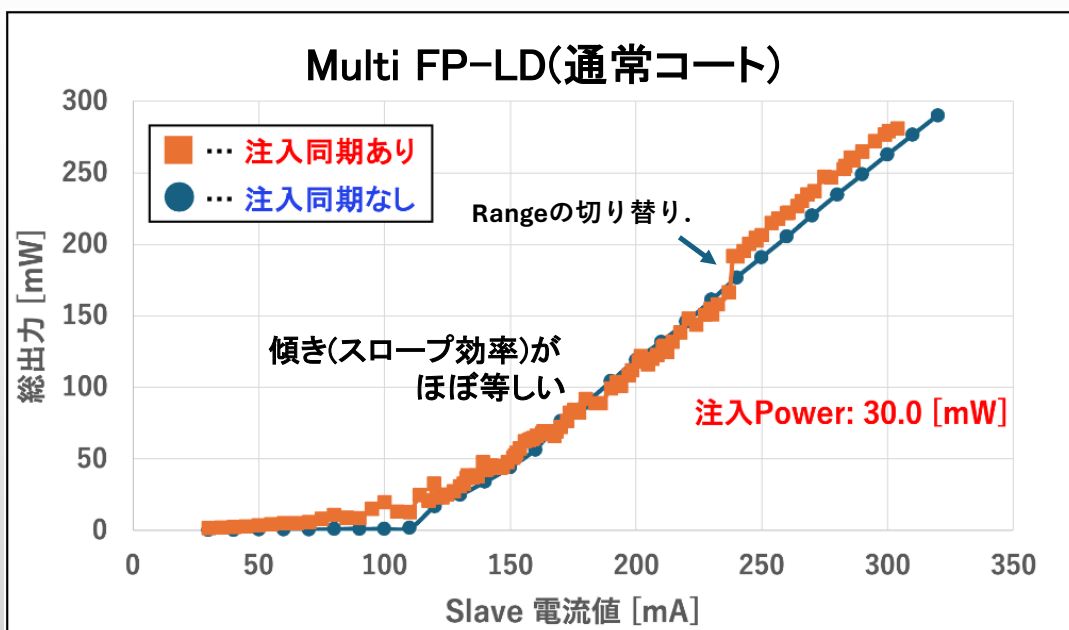
$$\text{スロープ効率} = \frac{\text{総出力}}{\text{Slave 駆動電流} - \text{発振閾値}}$$

✦ スロープ効率: 閾値以上の電流を流したときの光出力の増加割合

{ 通常コート: 1.39 [mW/mA]
 ARコート: 0.63 [mW/mA] } $\times \frac{1}{2}$

共振器内のフィードバック光を増加させたとしても,

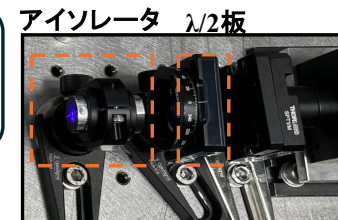
ARコートは通常コートに比べてスロープ効率が2倍近く低い結果となった。



400 [mA]以下では発振しておらず, 誘導放出成分が出力に含まれていない。

ARコート品 増幅ゲインの比較.

λ/2板により偏光角度を変え、
アイソレータを通過する光を制限。
⇒ 入力[mW]をシフト

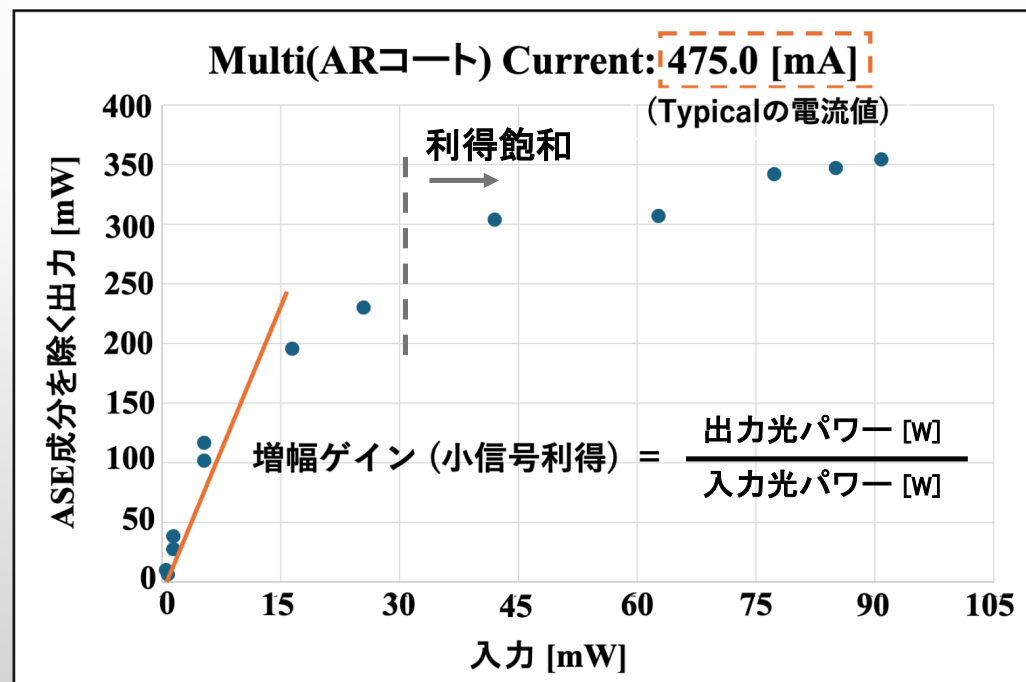
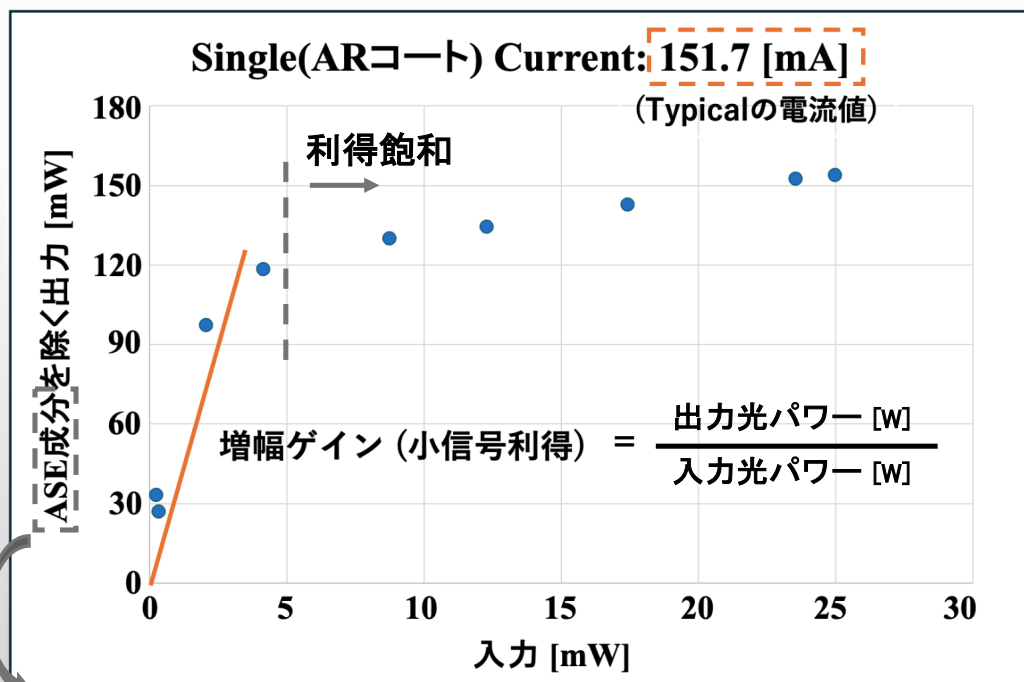


✦ 増幅ゲイン: 入力に対する出力の増幅量
(小信号での利得)

Single(ARコート): 25.5

Multi(ARコート): 11.2

Single FP-LD(ARコート)の方が **入力 [mW]** に対して, 効率よく増幅し **出力** する.



(※) ASE(Amplified Spontaneous Emission): 自然放出された光が媒質内で増幅されたもの。(レーザーになりきれなかった光)

まとめ

- ✦ 通常コート品 は Single, Multi FP-LD 共に調整難易度が高い.
- ✦ ARコート品 は増幅器(SOA)に近い挙動を示しており、注入同期の調整が容易.
- ✦ Multi FP-LD(ARコート)は、増幅ゲイン(小信号利得)が小さいためにスロープ効率が小さい.

LD種	共振器のミラー部分 コーティング	注入DFB波長	注入同期 調整難易度	スロープ効率 [mW/mA]	増幅ゲイン (小信号利得)
Single FP-LD	< 40%/90%: 通常コート	406.2 [nm]	△	1.37	25.5
Single FP-LD	< 1%/90%: ARコート	406.2 [nm]	○	1.40	
Multi FP-LD	< 40%/90%: 通常コート	408.3 [nm]	×	1.39	11.2
Multi FP-LD	<1%/90%: ARコート	408.3 [nm]	○	0.63	

結論

Deflection Laserの作成においては、Single FP-LD(ARコート)が適している.

(調整難易度, 増幅ゲインともに優れている。)