

「クライストロン用パルスモジュレータの高安定化」

SwissFEL(@PSI) のモジュレータ最新情報

○湯城 磨¹、ミカエル リンドホルム^{1,2}、ラルス カノン²、ラルスエリック ミネア²
¹, スカンジノバ・システムズ株式会社、², ScandiNova Systems AB

PSI : Paul Scherrer Institute

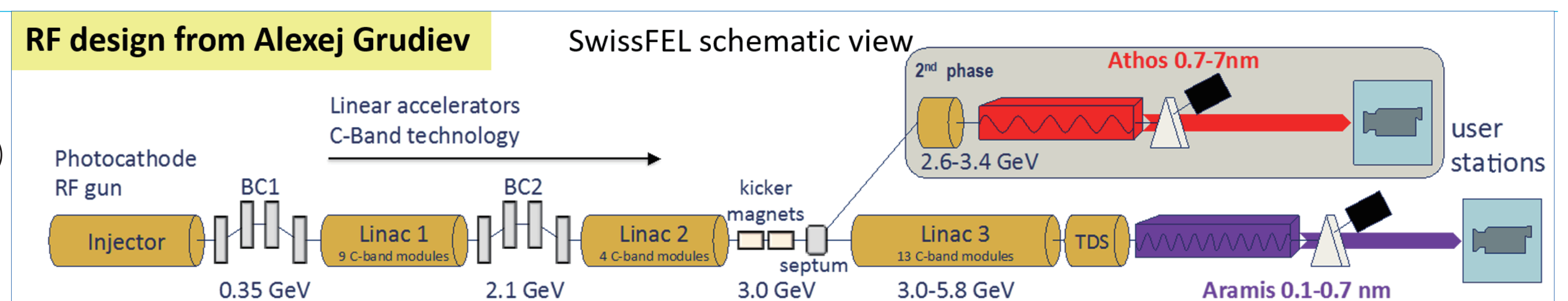
はじめに

SwissFEL 施設 (@ スイス) は 5.8GeV の線形加速器型自由電子レーザー (図 1) で 2017 年よりユーザ運転が開始。線形加速器には総数 25 台のクライストロンとモジュレータが使われ、ScandiNova 社のモジュレータは半数の 13 台が採用されている。昨年の秋に全数のモジュレータのフルパワー運転が開始されたので最新の運転状況を紹介する。

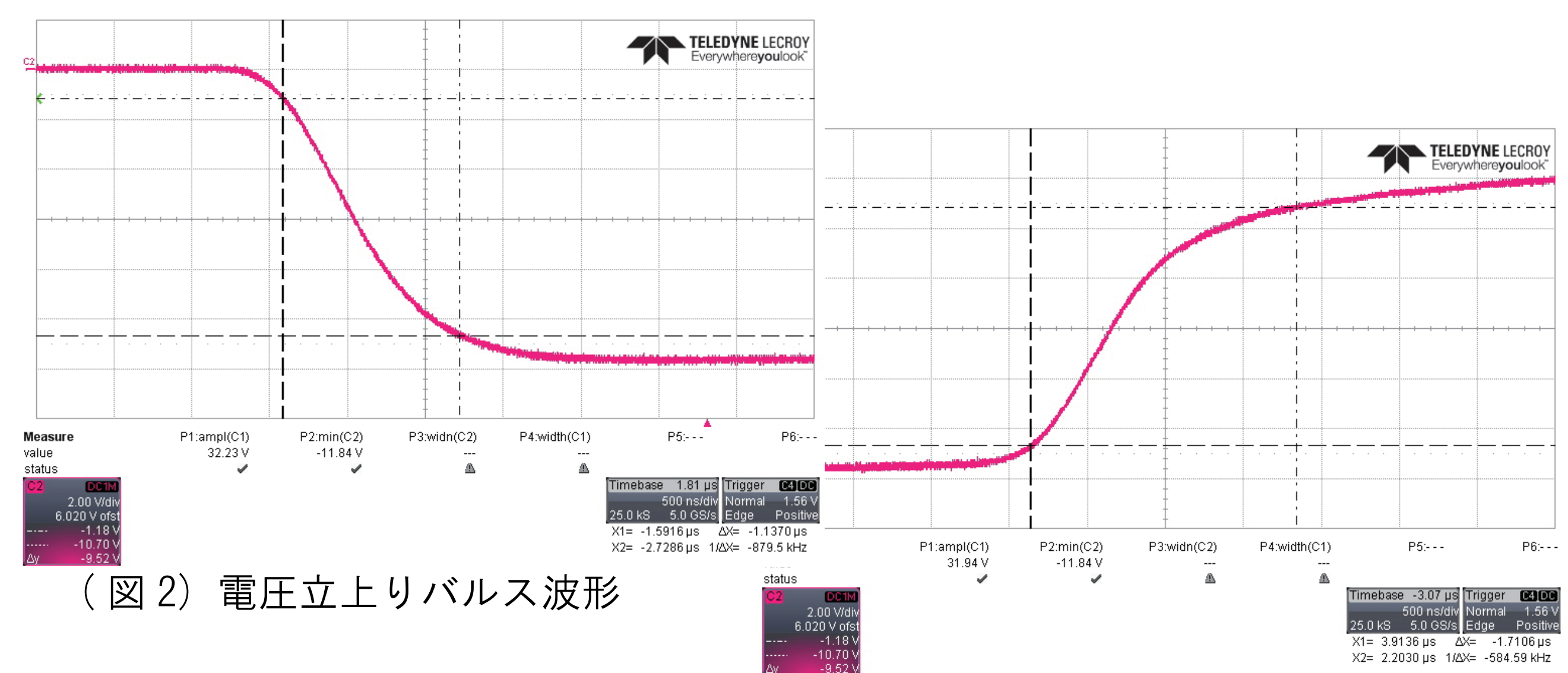
モジュレータの要求仕様と結果

(表 1) に SwissFEL の要求仕様を、(表 2) に 13 台のモジュレータの平坦度とパルス安定度 (100% 出力 10pps/100pps) のデータを示す。

平坦度と安定度に関しては、測定方法が PSI 殿より定義され、測定データと評価は PSI 殿と共同で実施。極めて高い安定度の測定となるため、ノイズの評価が一番難しく PSI 殿で決定。極めて高い安定度のデータが取得された。



(図 1) SwissFEL の加速器概略レイアウト



(図 2) 電圧立上りパルス波形

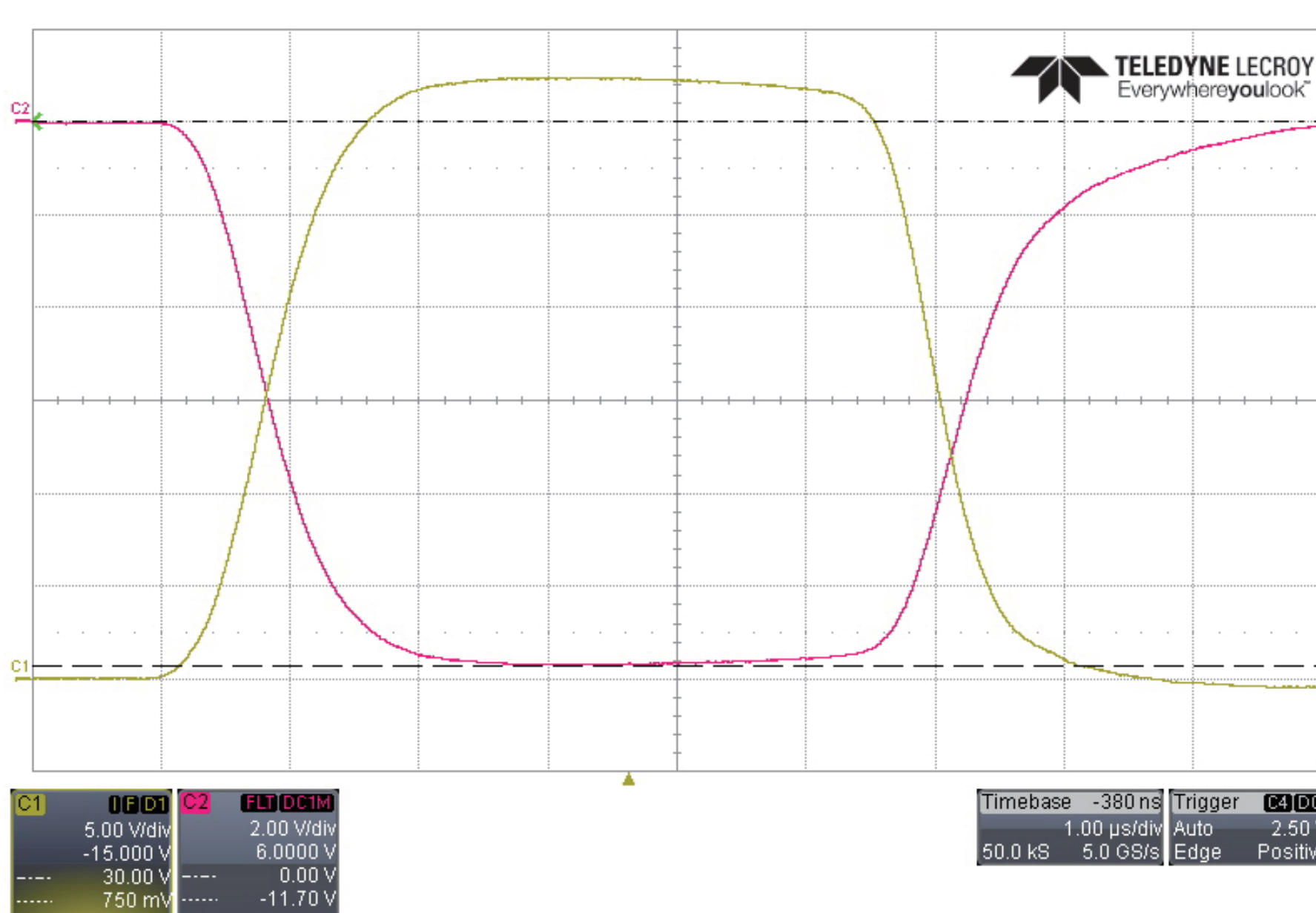
(表 1) モジュレータの要求仕様

項目	要求仕様	備考
クライストロン仕様	370kV, 344A, 1-3us	タイプ E37212 (5712MHz)
パルス繰返し	100pps	1-100pps 可変
電圧立上り時間	≤ 0.8 μs	10→90%
電圧立下り時間	≤ 1.7 μs	90→10%
パルス平坦度	± 1 %	ripple+droop、絶対値で 2% 以下
パルス安定度	< 15 ppm	定格の 75-100% の範囲に於いて

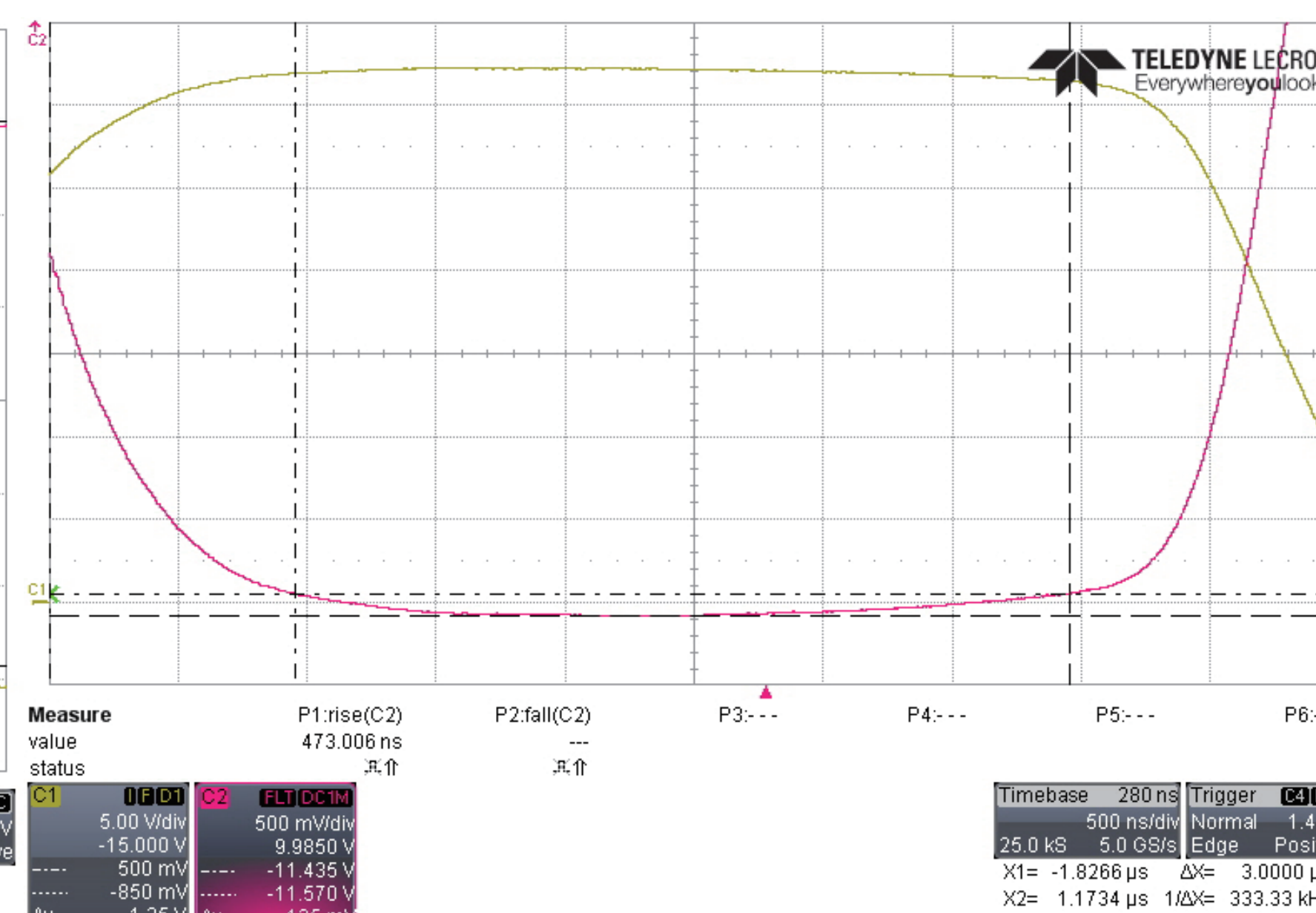
(表 2) モジュレータの平坦度と安定度データ

項目	CB01	CB02	CB03	CB04	CB05	CB06	CB07	CB08	CB09	CB10	CB11	CB12	CB13
電圧 rise 時間	平均 1.0												
電圧 fall 時間	平均 1.5												
パルス平坦度 (絶対値 %)	1.75	1.34	1.69	1.43	1.71	1.70	1.73	0.74	0.90	1.16	1.28	0.72	1.32
パルス安定度 (100%, 10pps)	9.4	11.3	10.9	10.5	14.5	8.1	10.7	8.0	9.6	11.5	9.7	10.3	10.7
パルス安定度 (100%, 100pps)	10.9	12.4	13.0	12.1	13.4	13.8	12.5	13.0	13.8	13.1	13.3	13.4	13.9

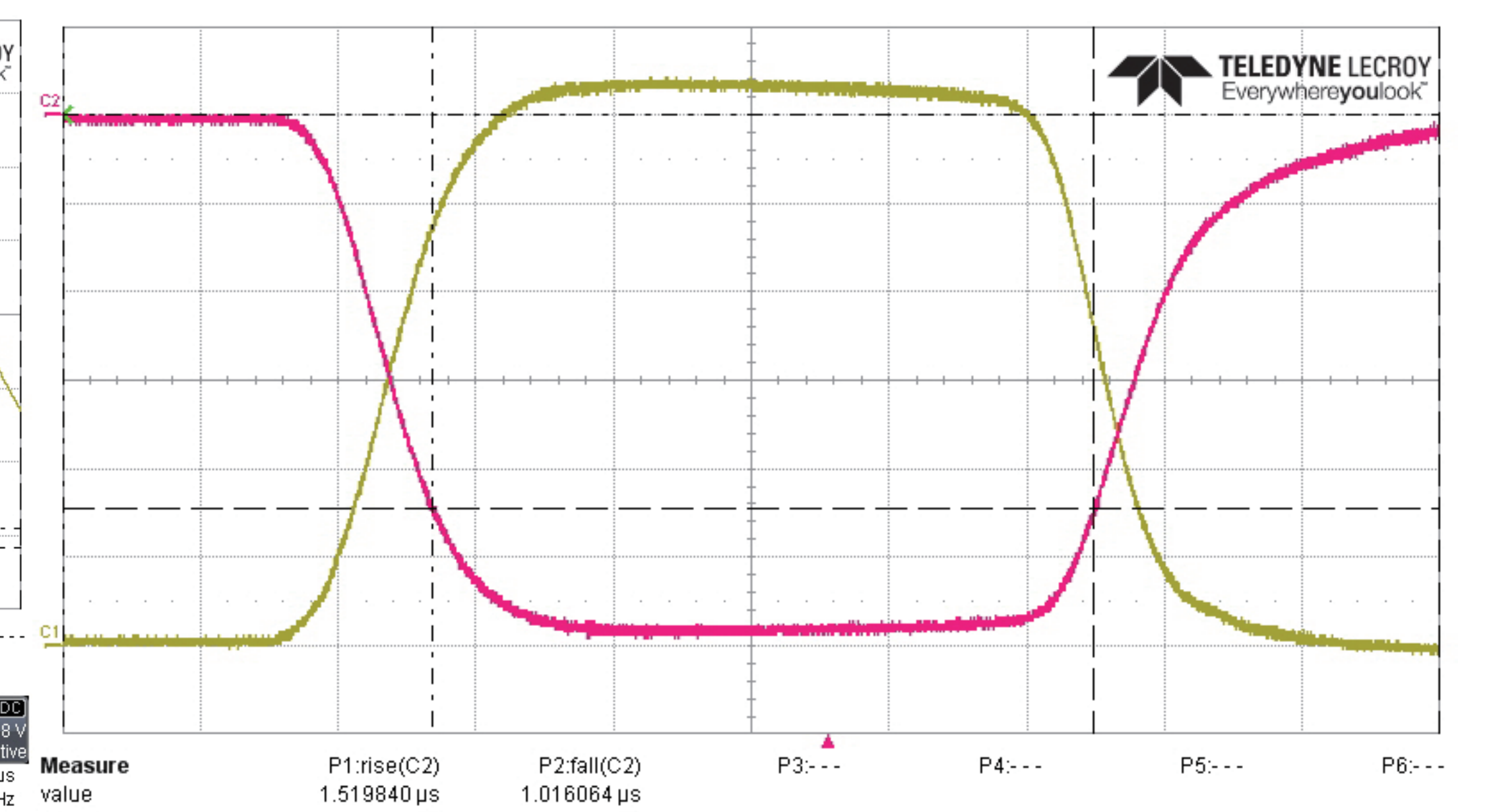
(図 3) 電圧立下りパルス波形



(図 4) 351kV/342A パルス波形



(図 5) 平坦度 1.17%/3us



(図 6) 安定度 20,000 パルス

まとめと総論

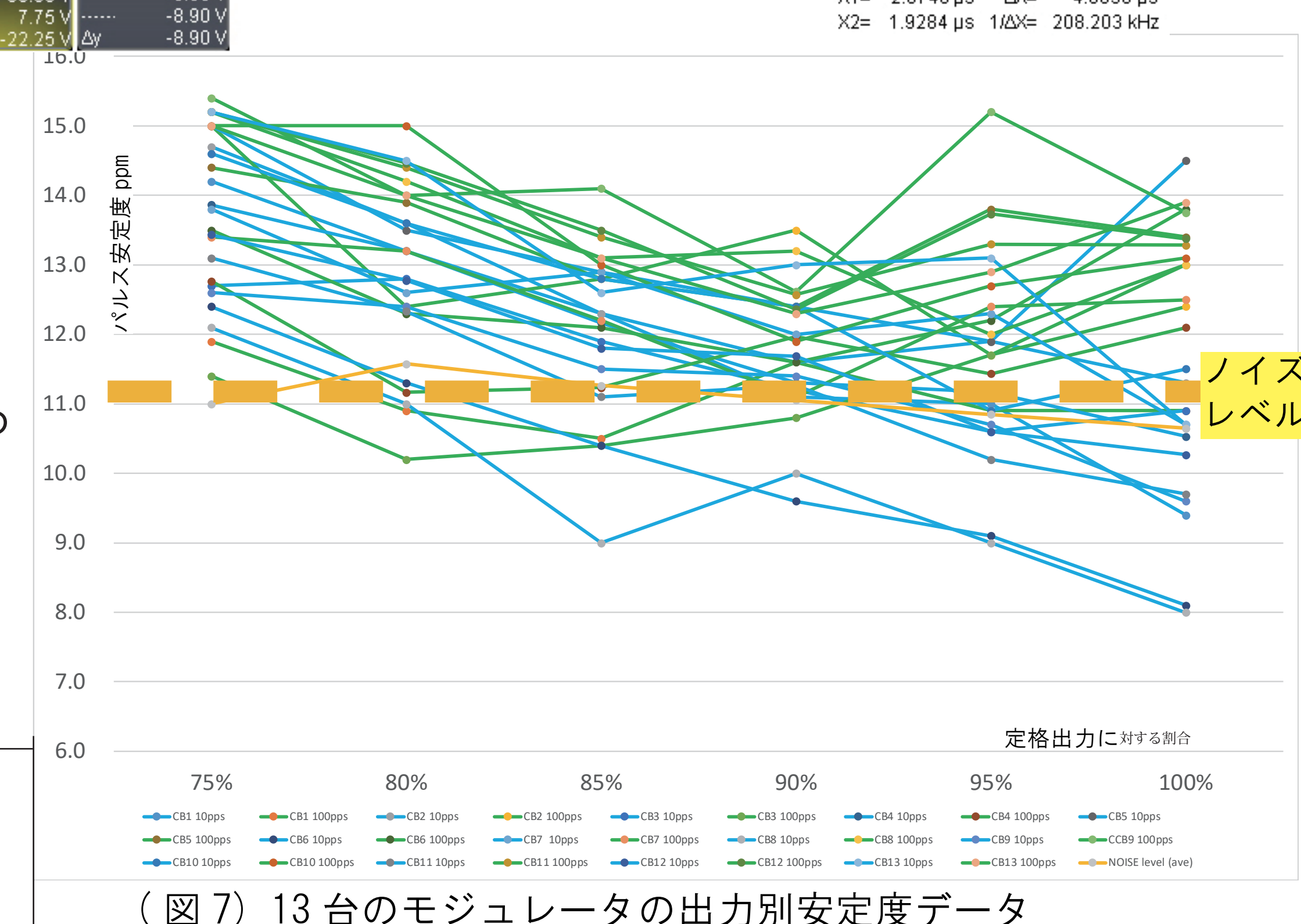
SwissFEL 向けに開発した 13 台のモジュレータのデータを示した。

最高性能 : パルス平坦度 0.72%、電圧パルス安定度 8 ppm (0.0008%)/10pps 時
 13 台平均 : パルス平坦度 1.34%、電圧パルス安定度 13 ppm (0.0013%)/100pps 時

極めて高いパルス平坦度及び安定度の実現には、クライストロンの個体差 (perviance) に起因する回路補償の簡易化 / 自動化チューニングのノウハウが重要であるが、そして今回要求のある定格出力の 75%-100% の幅で、15ppm 以下の安定度の実現は極めて困難な仕様である。ScandiNova では、真空管 (サイラトロン) を使わない、並列 IGBT スイッチによるパルス生成により、パルスのタイミングの調整を細かくチューニングできるところに大きな利点がありこの方式ゆえに実現できたものである。

ScandiNova の最新状況

ScandiNova 社 (スウェーデン) は、2001 年に設立以来モジュレータの改良 / 開発を常に継続し、現在では数多くの加速器施設、民生機器に組み込まれている。そして、今年 2 月には、受注総数が 1000 台を超え、特命受注や OEM 供給が増え順調に成長を続けている。事業拡大のため、現在新規建屋を建設中で、2020 年秋に竣工予定である。日本法人スカンジノバ・システムズ株式会社は、昨年 5 月より業務を開始し、本年 3 月に高エネルギー加速器研究機構殿に K100 型モジュレータを納入。更に民生向けにも受注を獲得。国内の皆様には、今後も ScandiNova の最新機器をお届けできるよう努めて参ります。



(図 7) 13 台のモジュレータの出力別安定度データ

モジュレータ出荷実績	796 台
DC 電源出荷実績	1,224 台
スイッチユニット出荷台数	8,062 台
総計運転時間	1,333,809 時間
MTBF (MIL-HDBK-217)	13,067 時間

(2019/05/31 時点のデータ)