

## 「クライストロン用パルスモジュレータの高安定化」

○湯城 磨<sup>1</sup>、ミカエル リンドホルム<sup>1,2</sup>、ピータ オケルステン<sup>2</sup>

1, スカンジノバ・システムズ株式会社、 2, ScandiNova Systems AB

### はじめに

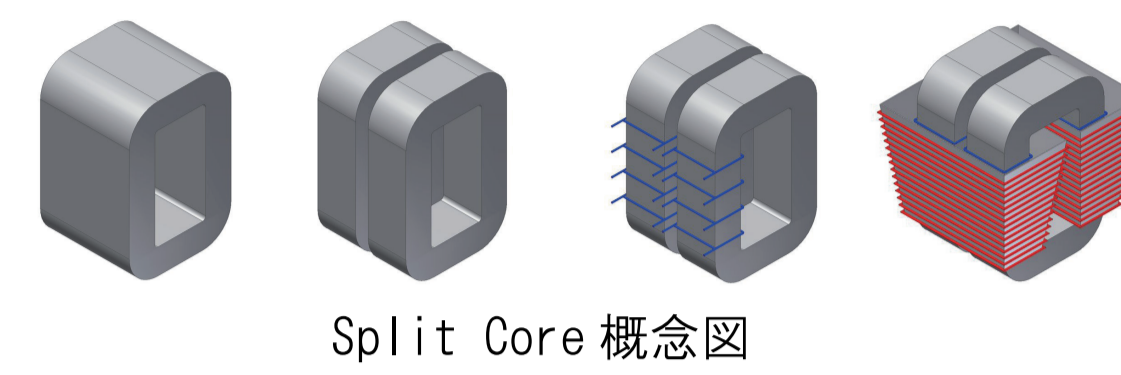
大型加速器のビーム安定には、RF源の安定性が不可欠である。本発表では ScandiNova 社製のクライストロンモジュレータの世界設置実績を元に、様々な大型加速器向け安定化技術の最新状況を紹介します。

### スカンジノバ・システムズのコア技術

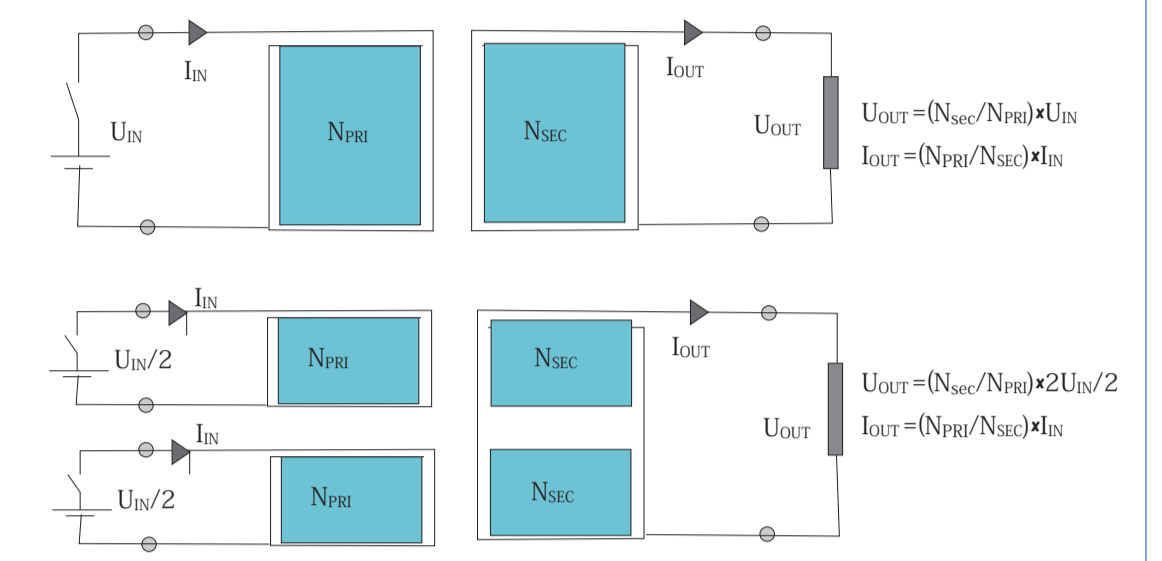
スカンジノバ・システムズは、独自開発のコア技術により高安定動作を実現。

#### 1. Split Core™

トランスのコアを分離、巻線比率を大きくし1次側の電圧を下げる。  
具体的には、1次側を1kV前後とし商用一般のIGBTを定格の5-6割で使用。  
2次側はクライストロンに必要なV/Aに応じて、巻線比率と分離数を決める。

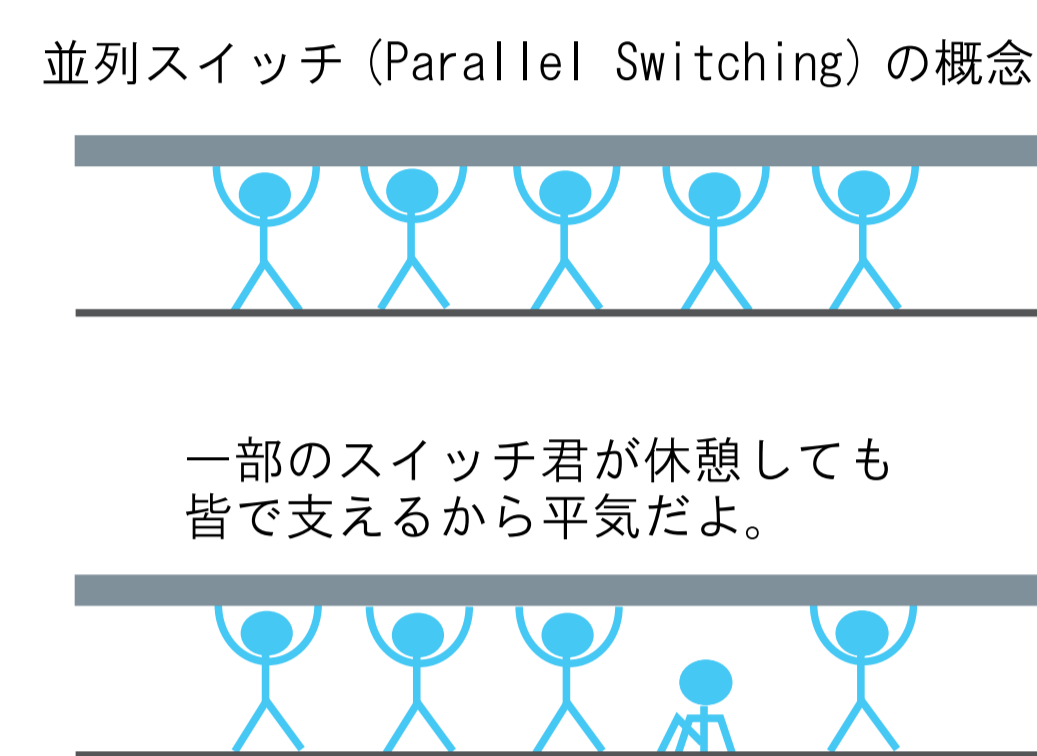


Split Core 概念図



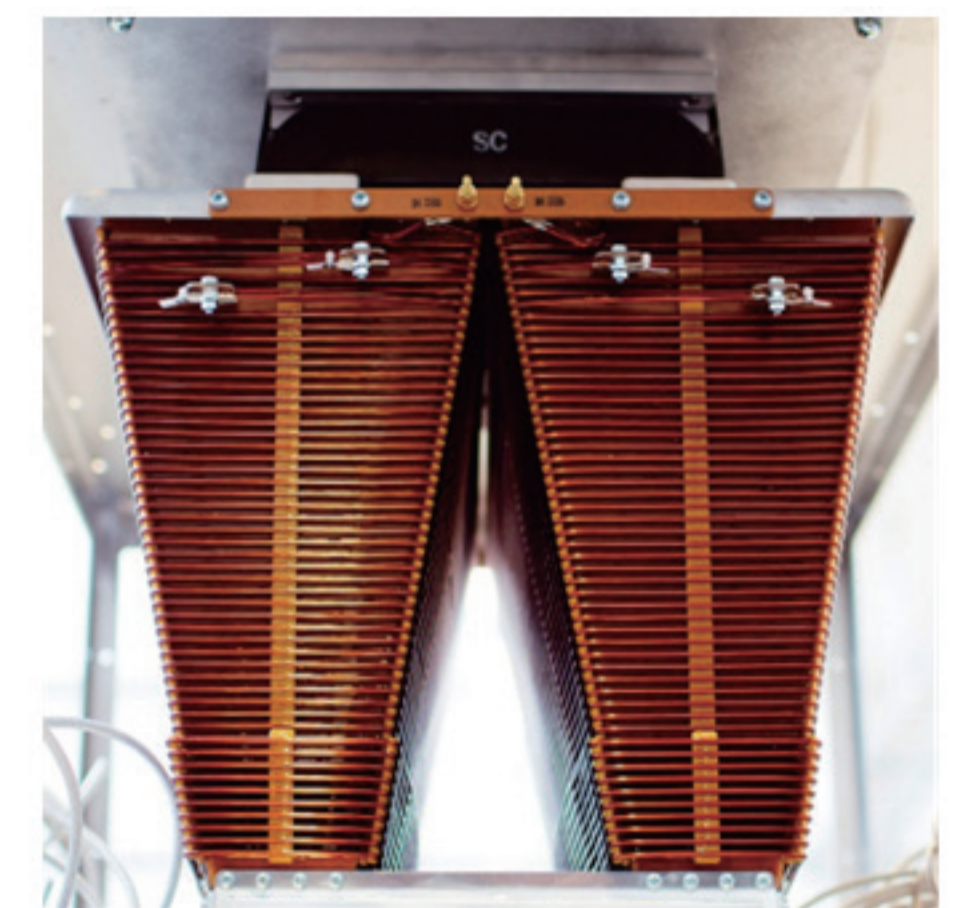
#### 2. Parallel Switching™

複数のIGBTスイッチを並列接続でon/off。IGBTスイッチに異常が発生した場合でも他のスイッチで補填できるため、冗長性の高いシステムを構築。メンテナンスフリーに近いシステムが構成として提供。



並列スイッチ (Parallel Switching) の概念

一部のスイッチ君が休憩しても皆で支えるから平気だよ。



パルストランス (Split Core)

#### 3. Pulse to Pulse Control™

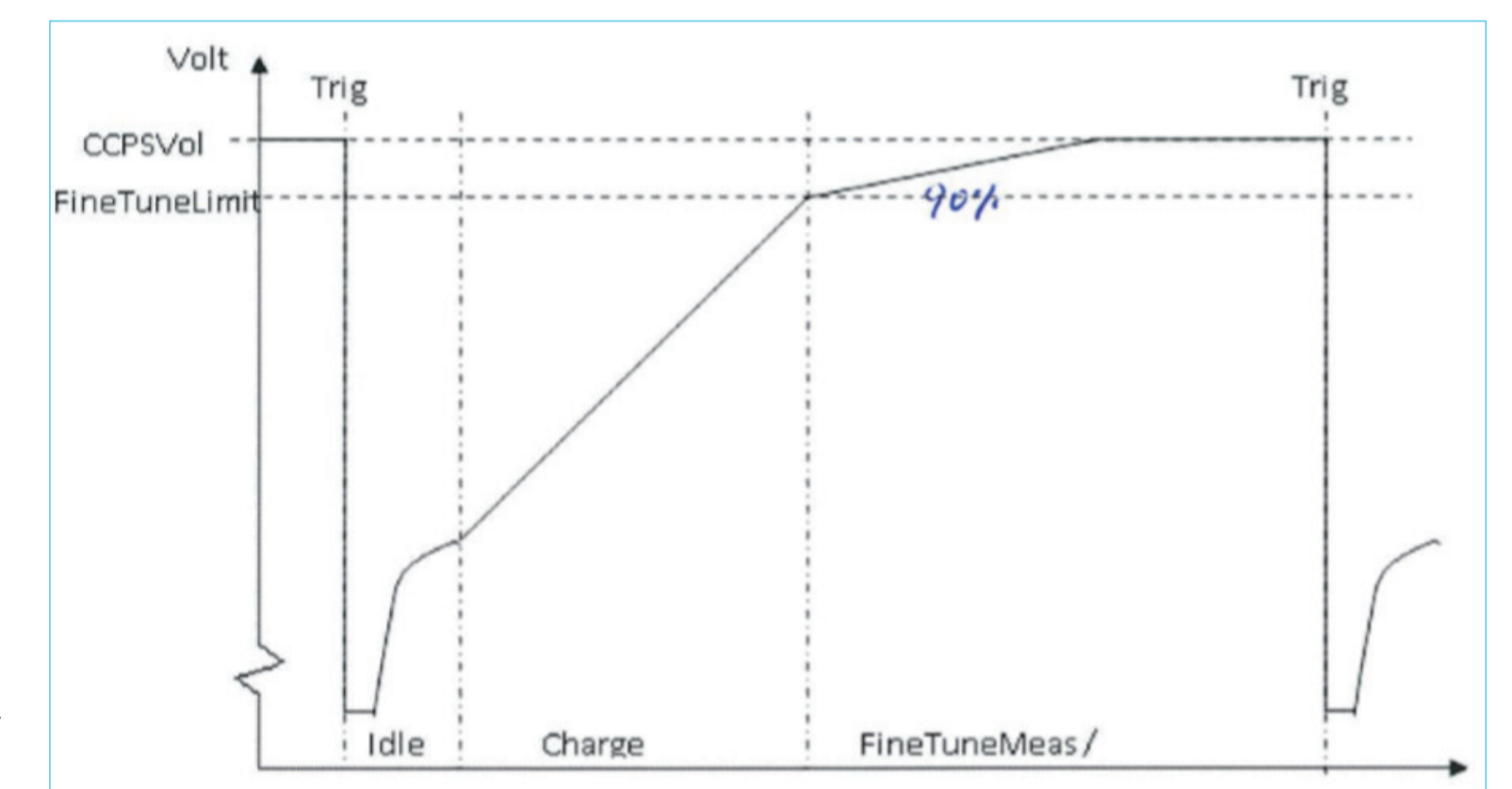
ScandiCAT™システムとの融合により、1パルス毎のパルスコントロールを実現。超高安定パルス生成を実現。

### 超高安定化技術

パルスの超高安定度達成のため、スカンジノバではCCPS (コンデンサーDC電源)の安定性はもちろん、1パルス毎の最適制御により達成している。

#### 1. CCPS (Capacitor Charging Power Supply) 充電電圧の高安定化

コンデンサーに1パルス毎に充電する回路系は、IGBTスイッチにより的確にコントロールされ、高精細モードにより毎回同じ電圧に充電される。



#### 2. パルスチューニングパラメータ

超高安定実現には、クライストロンに合わせたパルスチューニングが不可欠であり、スカンジノバではクライストロン毎の特性(ρ特性)、動作条件に合わせたチューニングを(自動で)実施する。クライストロンの特性は下記の式で表せるが、

$$I = \rho V^{1.5} \quad (\rho : \text{Pervance, } I : \text{current, } V : \text{voltage of the klystron})$$

クライストロン毎にρは、+/-10%変動の可能性があるため、クライストロン毎のチューニングは必須である。また、施設側の要件で運転電圧が変わる場合には、どの電圧でチューニングを実施するかも重要になってくる。

スカンジノバでは、クライストロンの特性に応じて、各IGBTスイッチのon/offのタイミングを自動でコントロール。いつでも仕様値内の安定度が確保できるように制御されている。

### 実績データ

スカンジノバの世界ワイドでの設置実績の幾つかを紹介する。

**REF#25 K2-3 SYSTEM 60MW S-BAND**

2x 10 PW LASER at 10<sup>24</sup>W/cm

370kV / 412 A / 2.5us / 100 Hz

安定度 15PPM (0,0015%)

**REF#23 TOSHIBA K2-1 SYSTEM 6 MW X-BAND**

152kV / 99 A / 5us / 400 Hz

安定度 23PPM (0,0023%)

**REF#29 K300 SYSTEM 37MW S-BAND**

357 kV/us, 345 kV/us

286kV / 291 A / 4us / 50 Hz

安定度 28PPM (0,0028%)

**WORLD RECORD! PULSE TO PULSE STABILITY**

Pulse Current Stability 13 ppm rms

Pulse Voltage Stability 8.7 ppm rms

### SCANDINOVIA MODULATOR DELIVERY PLACES



### まとめ

スカンジノバ・システムズのコア技術、超高安定化技術そして実績データを概略紹介した。スカンジノバ・システムズのクライストロン用モジュレータは世界各国・研究所で広く採用されており、出荷実績は600台を超えスイッチユニット(IGBT)の稼働数は7300台余り、総稼働時間は百万時間を超え、大きな実績を上げている。これは、スカンジノバ・システムズのモジュレータが信頼を得ている証であり、今後日本市場にも拡販を目指していく。

モジュレータ/RFユニット出荷実績:	601 台
DC電源出荷実績:	953 台
スイッチモジュール出荷実績:	7 312 台
総合運転時間:	1 051 210 時間