

S-band 80 MW マルチビームパルスクライストロンの開発

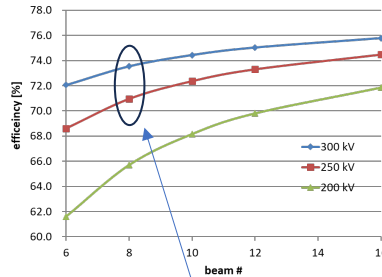
夏井 拓也, 松本 修二, 松本 利広, 三浦 孝子, Wang Shengchang, 福田 茂樹 (KEK)

KEK電子陽電子入射器では、S-band 50 MWのパルスクライストロンが約60台稼働している。このクライストロンは30年ほど前に開発されたもので、その効率は45%程度と現在ではとても高効率とは言えない。昨今の電力価格の高騰からもクライストロンの高効率化が望まれている。そこで、我々は現在のクライストロンの置き換えを狙って新しく高効率クライストロンの開発を始めている。目標効率を73%に設定してマルチビームクライストロンの設計を行なっている。大電力パルスS-band帯域でのマルチビームクライストロンの開発は世界的にも珍しく今後のクライストロン開発にも貢献できると考えている。我々が進めている基本デザインや設計進捗などを報告したい。

基本的な開発目的と目標スペック

KEK入射器のクライストロンを高効率Multi-beam klystron(MBK)に置き換える計画が進んでいる。これは、モジュレータは変えずパルストランスとクライストロンだけを置き換える計画である。モジュレータパワーは110MWであるため、このパワーを基準に電子銃のパラメータを決めた。電圧とビーム数を決めると電子銃あたりのパービアンスが決まる。そこからクライストロンの効率の経験式(効率[%] = $78 \cdot 16^{\mu\text{Pv}}$)から予想効率をだしてパラメータを決めた。出力80 MWを目指すために、最終的には電子銃電圧300 kVに決定した。

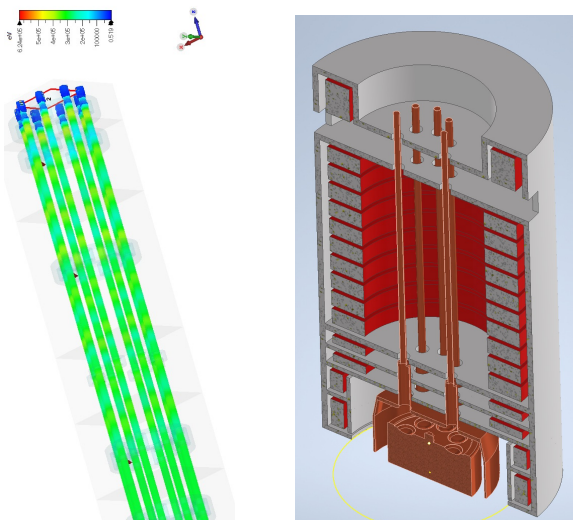
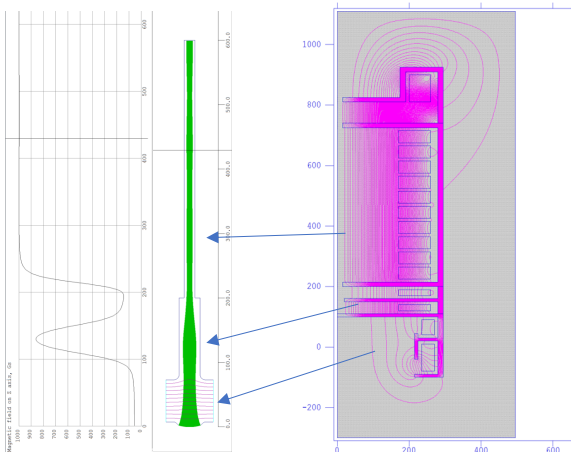
結局は現在のクライストロンの電子充電圧310 kVとほとんど変わらないが、クライストロン全体が大きくなるので、絶縁トランスとその絶縁油タンクは完全に作り変える計画である。カソード電流密度は6 A/cm²と決めて、カソード半径と全体の大きさを決めた。



8 beam, 250kv or 300 kvあたりが良いだろうということになった。

電子銃パラメータ	
電圧	300 kV
合計電流	366.4 A
ビーム数	8
電流	45.8 A
パービアンス	0.28 μPv
予想効率	73.5 %
カソード電流密度	6 A/cm ²
カソード半径	15.6 mm
カソード並びの半径	65 mm
空洞ビームパイプ半径	7.5 mm

DGUNによる電子銃2次元設計

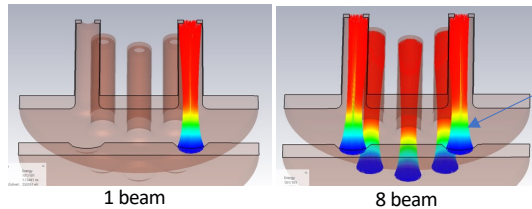


CST PICでRF設計中

position: workdir: 4
 Date: 1/27
 Sample: 1000000
 Resolution: 1000000
 Maximum Current: 250000 A
 Maximum Voltage: 650000 V
 Maximum Power: 162500 W
 Maximum Energy: 650000 eV

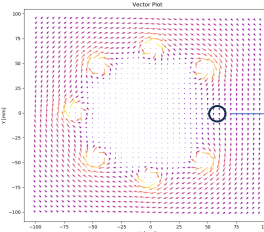
基礎的なシミュレーションで74%を確認している

MBK 特有の問題であるビーム相互作用問題

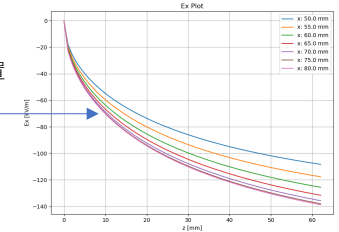


ここで他のビームが作った磁場を感じて中央に集束するように曲がる

1beamのみなら横方向のkickを受けない場合でもMBKの場合、他のビームが作った磁場が影響して中心方向にビームが集まってしまふ。これは、電流量が大きい割に全体が小さいS-band パルス MBK 特有の問題、(L-bandなどでは問題になっていない)

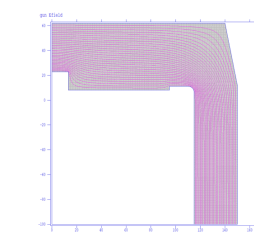


ビーム位置でのkick量

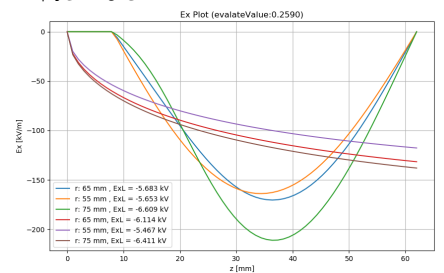


ビームが作る磁場は簡単に計算できる

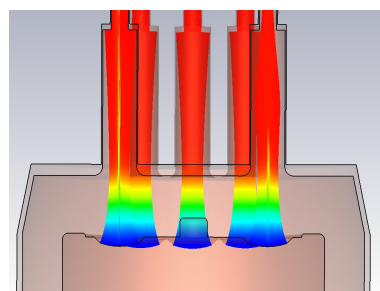
更に電子ビームの速度も計算できるのでどの程度のkickが生じるのかも計算できる。単位は電場と同じになる



電極の形を変えて、磁場によるkickを相殺する電場を作る



電場と磁場のkickの積分が同じになるように設計



3次元で計算しても良好な結果

