

ILCのコスト削減に向けた日米共同研究

資料2-2

道園真一郎
KEK加速器研究施設

ILCに関する日米ディスカッショングループ

1. 概要

国際リニアコライダー(ILC)計画に関して、国際的にも重要なパートナーである米国エネルギー省(DOE)と行政的事項について意見交換を行うため、平成28年5月にディスカッショングループを設置することに合意。

2. 代表者

文部科学省:大臣官房審議官(研究振興局担当)

D O E:科学局長

3. 検討・調整事項

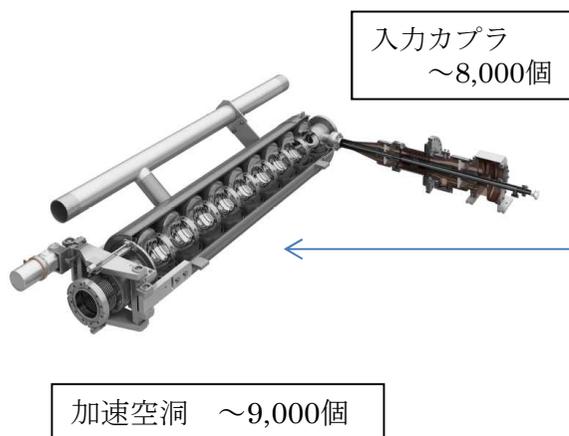
ILC計画について、特に、ILC計画の実現の可能性を高めるためにも大幅なコスト削減を目指すことが重要であり、優先的に検討するとされた。



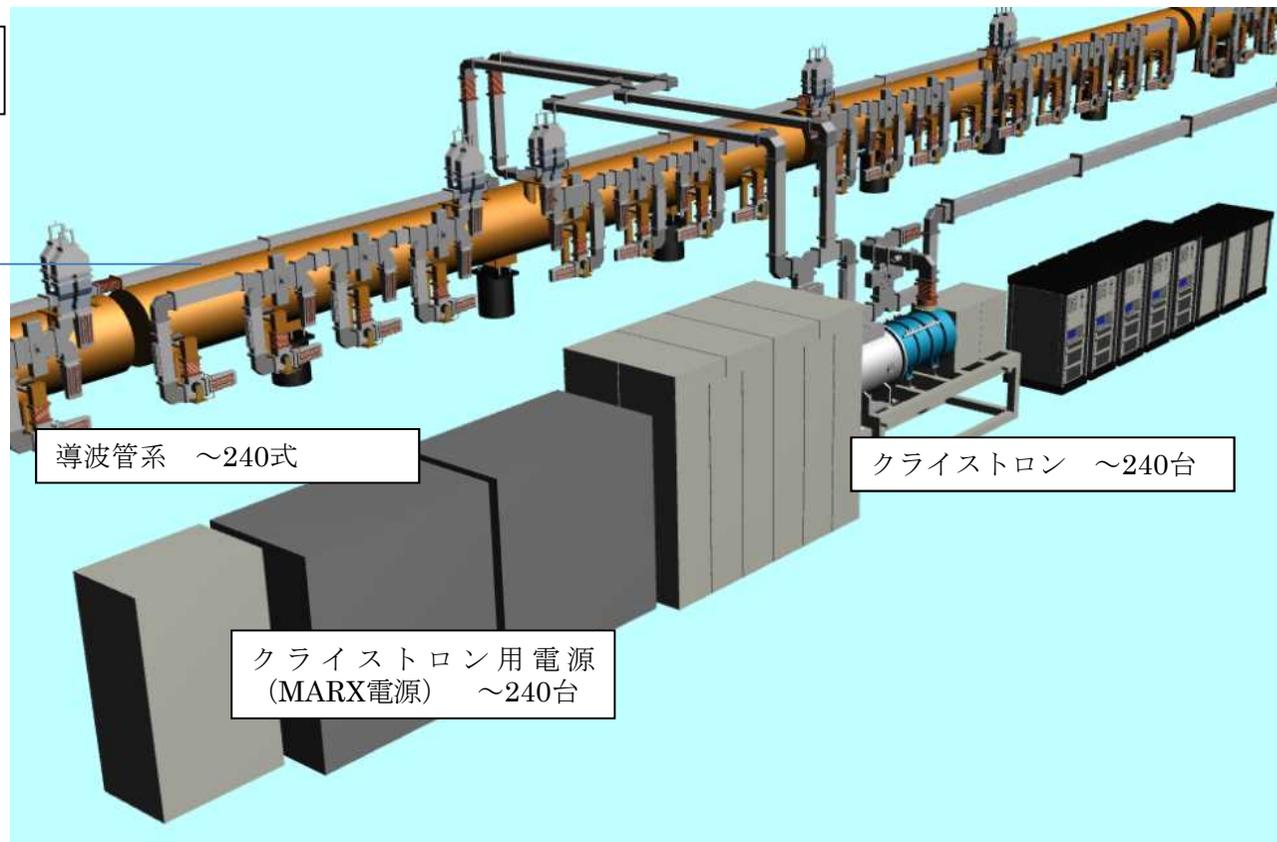
本ディスカッショングループにおいて、大幅なコスト削減を目指すことが重要との共通認識から、その後数回の会合を経て、平成29年4月より、日本・高エネルギー加速器研究機構(KEK)と米国フェルミ国立加速器研究所(FNAL)の間で、コスト削減に向けた日米共同研究を開始。

- 低コスト・ニオブ材料の活用による超伝導高周波空洞材料の低価格化
- 高電界・低損失実現のための超伝導高周波空洞の表面処理

ILC250GeVにおける超伝導加速器



超伝導空洞は、歩留まりを90%としている
為、入力カップラーより10%員数が多い。



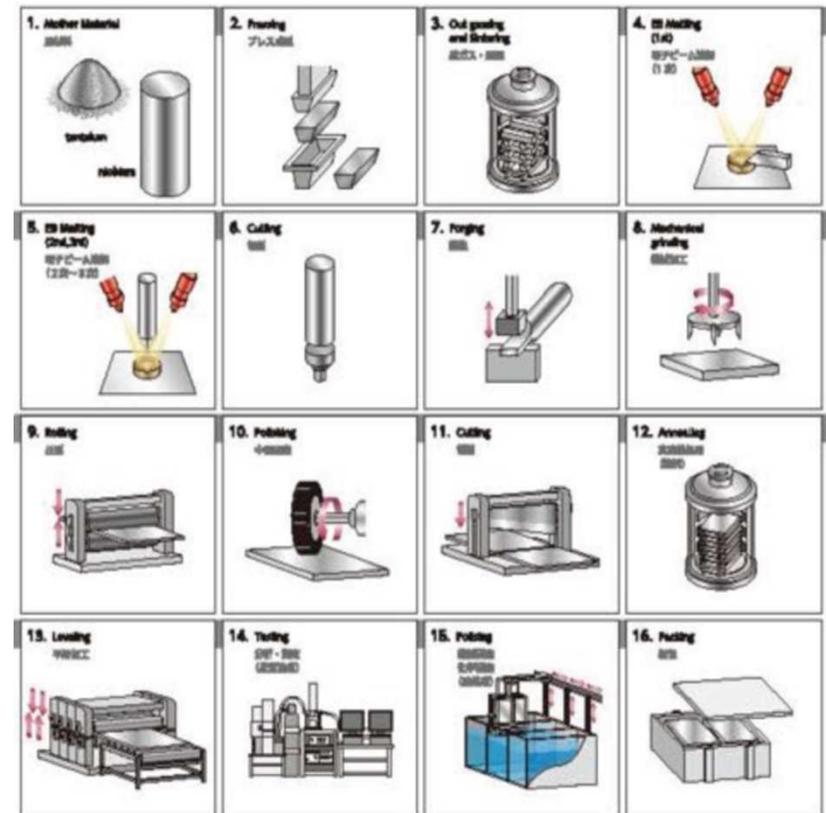
低コスト・ニオブ材料の活用による 超伝導高周波空洞材料の低価格化

ニオブ(Nb)材料費は、TDRで見積もられた全体コスト見積もりの5~6%を占め、重要な検討候補となる。超伝導加速空洞の高性能化を堅持しつつ、材料費のコスト削減を実現する方策として、以下の2点に着目する：

- Nb材料精錬過程における「純度および残留抵抗比(RRR: Residual Resistivity Ratio)」の最適化
- Nb精錬後の**インゴットからの「直接切り出し法」による空洞用ディスク材の製造**

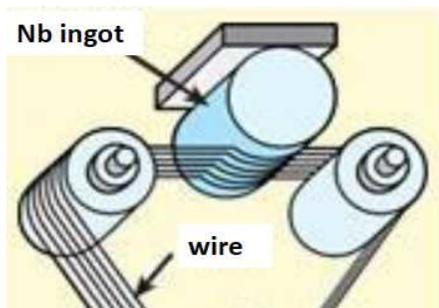
ILC250において0.9~1.9%のコスト削減が可能

工程	従来・工法 (FG)	コスト削減・工法 (LG)
インゴット製造: 電子ビーム溶解・精錬 → 残留抵抗値 (RRR)	≥ 300	≥ 200 , 平均: ~ 250
インゴット → ディスク成型	鍛造 → 圧延 → 機械研磨 → シート・カット	直接ディスク 切り出し
表面仕上げ 結晶粒界 (Grain)	化学研磨 Fine (< 1 mm)	化学研磨 Large (5~10 cm)

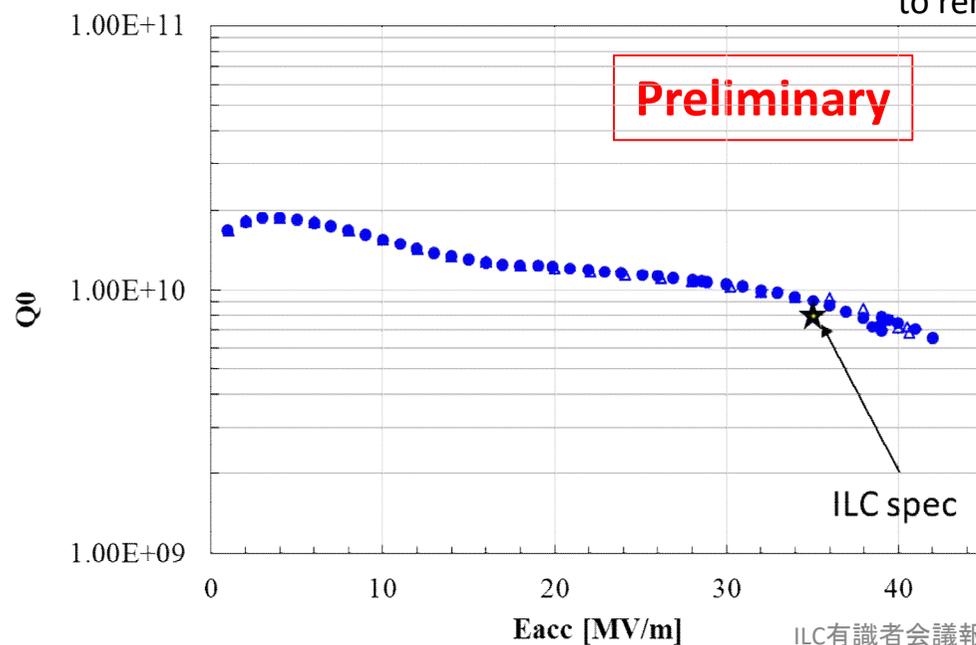
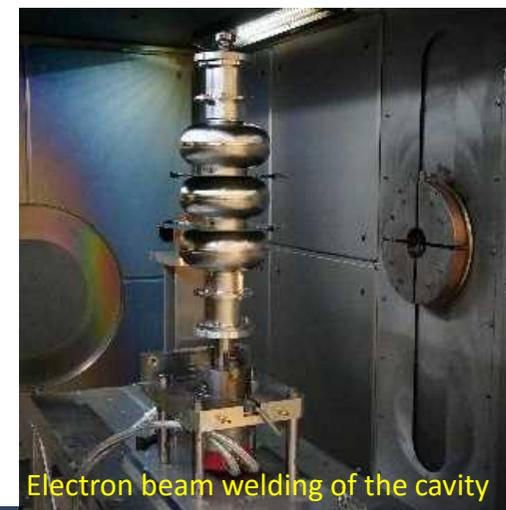


2017年度のKEKにおける成果

インゴットから切り出した材料を使って3セル空洞を製造



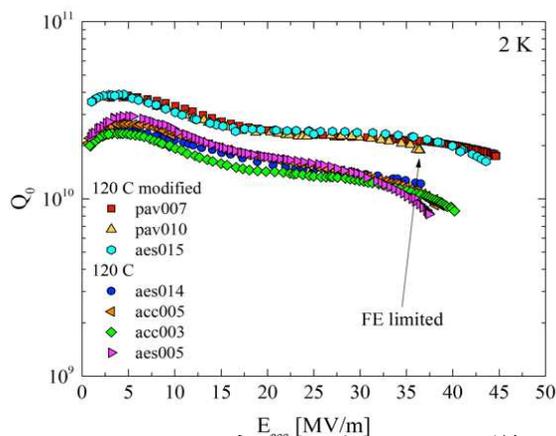
Annealed for $800^{\circ}\text{C} \times 3\text{hrs}$ to remove stresses.



- ILCの仕様を満たし、42MV/mまで到達。

高電界・低損失実現のための 超伝導高周波空洞の表面処理(N-Infusion)

N-Infusion(窒素インフュージョン)の技術は、米国のフェルミ研究所にて開発された。超伝導加速空洞の処理工程の一つに加熱真空炉における800°C、3時間の高温熱処理による脱ガス・応力除去の工程がある。この熱処理後の冷却中に120°C、48時間の間25 mTorr(3.3 Pa)程度の窒素を真空炉に導入する工程を加え、ニオブ製空洞の表面(10 nm程度)に微量の窒素を拡散させることにより、加速勾配・Q値ともに向上させる事ができる。ILC用の標準的な表面処理を行った空洞と比較して、加速勾配で約10%、Q値で約2倍(35 MV/m)の性能向上を示す実験結果が得られている。ILC250において2.0~4.1%のコスト削減が可能



N-Infusionを行った1.3 GHz単セル空洞の性能。図中“120 C modified”と書かれた空洞がN-Infusionを適用した空洞。“120 C”と書かれた空洞がILCの通常処理が施された空洞。図中の“FE limited”は電界放出による性能制限。

表面処理工程の比較

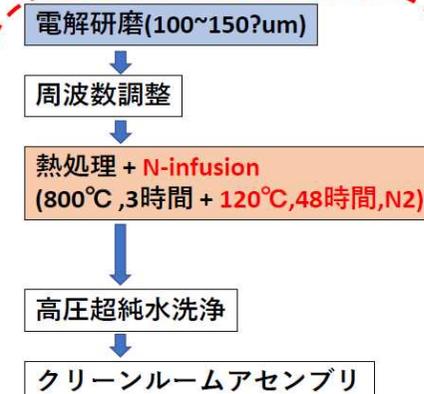
ILC標準レシピ



※ 空洞性能に効く工程



N-infusion

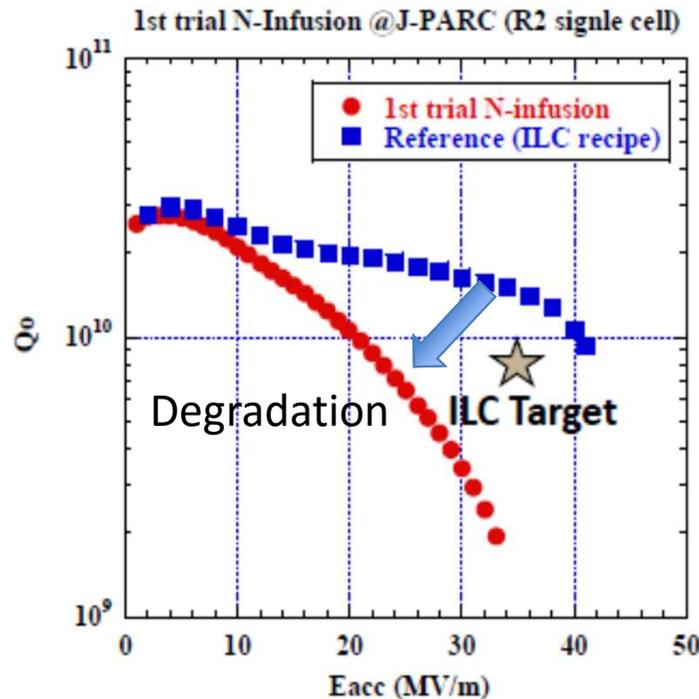
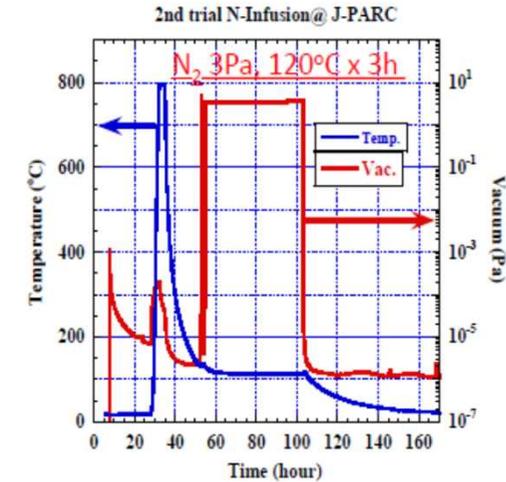


※ 全ての工程が空洞性能に寄与

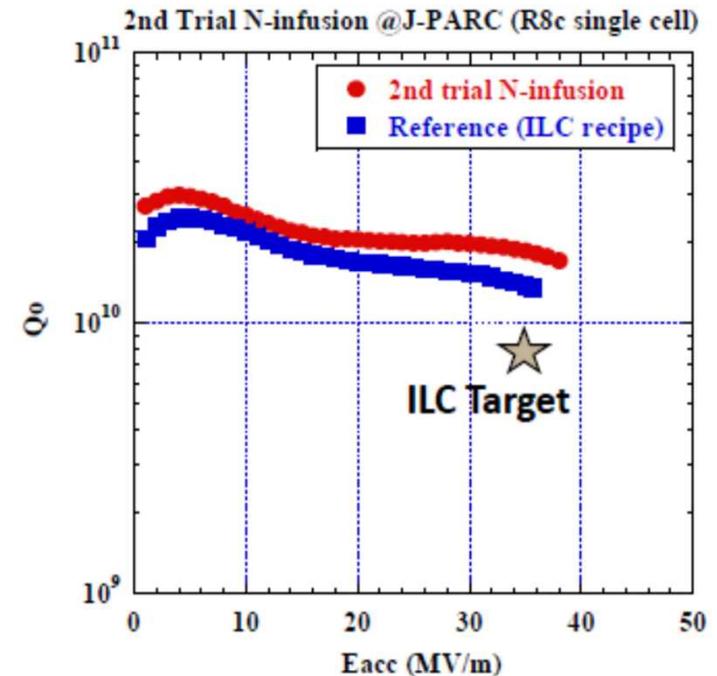
- 電解研磨の工程が1回減る
- 真空炉での熱処理で空洞性能を劣化させない事が必須条件

2017年度のKEKにおける成果

- 最初のN-Infusionはうまくいかず、むしろ性能が劣化した。
- プロセス中の残留ガスが問題となっている可能性があったため排気系を変更した。
- 2回目のトライでは、性能の向上を確認できた。(Q値で35%増、電界で+5%)
- さらに処理のパラメータを最適化することが必要。



真空排気系の強化



2018年度及び2019年度の計画

空洞の縦測定から、加速器での空洞性能維持実証までを検証



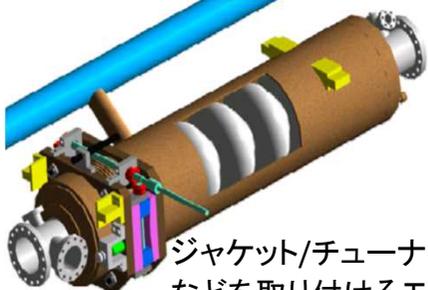
空洞本体製造



熱処理



縦測定



ジャケット/チューナなどを取り付けるモジュール化

	Standard Fabrication/Process
Fabrication	Nb-sheet purchasing
	Component Fabrication
	Cavity assembly with EBW
Surface Process	EP-1 (~150um)
	Ultrasonic degreasing with detergent, or ethanol rinse
	High-pressure pure-water rinsing
	Hydrogen degassing at >600-C → 800 C
	Field flatness tuning
	EP-2 (~20um)
	Ultrasonic degreasing or ethanol (or EP 5 um with fresh acid)
	High-pressure pure-water rinsing
	Antenna Assembly
	Baking at 120 C (+ N2 infusion)
Cold Test (vertical test)	Performance Test with temperature and mode measurement
Cryomodule	Installation to the cryomodule

N-Infusion

新ニオブ材料

2018年度:

-空洞製造

-N-Infusionの縦測定での確立
-STF-2空洞性能確認試験(ビーム運転) → 清浄化の確立。

2019年度: 縦測定、横測定

-モジュール化空洞の横測定

-STF-2への実装と冷却試験準備

高電界維持のための清浄化技術



単体横測定



モジュール横測定 (ビーム試験)

横測定