



ILC 加速器

INTERNATIONAL LINEAR COLLIDER

国際リニアコライダー (ILC) 計画は「将来の加速器に関する国際諮問委員会」のもとで、世界中の研究者が実現に向かって努力している夢の加速器です。日本の高エネルギー物理学研究者も ILC の推進を学術的に最も重要な課題と位置づけ、その基礎的な研究開発に取り組んでおり、高エネルギー加速器研究機構は大学共同利用機関として、このような研究者の活動を取りまとめる役割を担っています。

ダンピングリング による超低エミッタンスビームの生成

ULTRA-LOW EMITTANCE BEAM BY DUMPING RING

衝突点で5.9nmまでY方向ビームサイズを絞るためには、ダンピングリングを使用してその放射減衰効果によりビームの広がり(エミッタンス)を極度に小さくしなければなりません。ところが電子あるいは陽電子ビームのパンチ列は線形加速器内では218kmもの長さになり、このままでは周長3.2kmのダンピングリングに入射蓄積できません。そこで3nsという立上がり立下がり特性を持つ高速キッカーにより、554ns間隔のパンチ列を6.2ns間隔に縮めるパンチ列圧縮入射、そして取り出すときにはその逆のパンチ列拡大取り出しを行います。

ILC加速器のビーム主要諸元

BEAM PARAMETER OF ILC

衝突エネルギー Beam Energy	500GeV (250GeV + 250GeV)
ルミノシティ Luminosity	$1.8 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
パンチあたりの粒子数 Number of Particles/Bunch	2.0×10^{10} 個
パンチ数 Number of Bunches	1,312パンチ
パンチ間隔 Bunch Spacing	554ns
加速(衝突)繰り返し Collision Repetition	5Hz
主線形加速器加速勾配 Acceleration Gradient	31.5MV/m
衝突点ビームサイズ Collision Beam Size	474nm×5.9nm

電子側加速器の構成

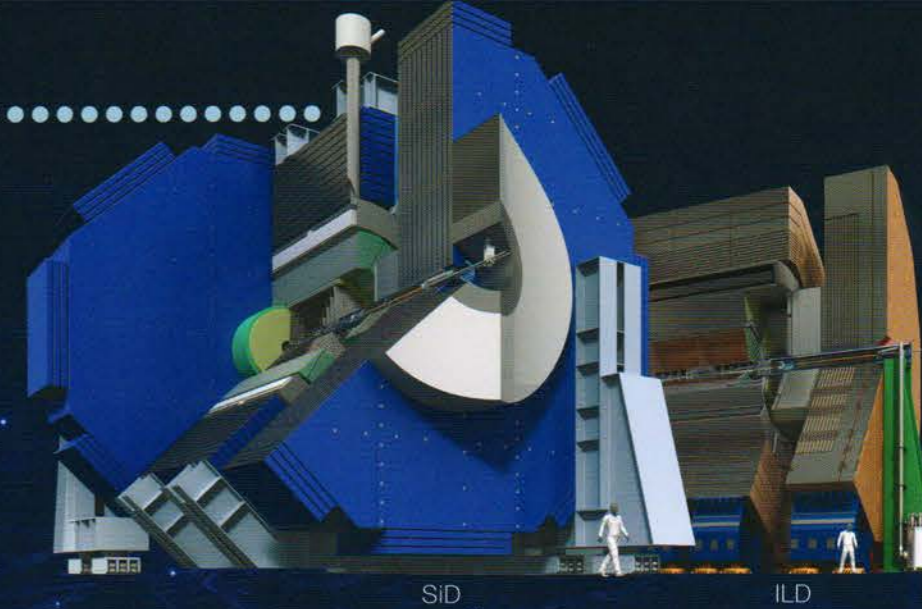
Configuration of Electron Accelerator

偏極電子銃と集群システム Polarized Electron Gun and Bunching System
5GeV超伝導入射線形加速器 5GeV Injector SC-Linac
5GeVダンピングリング 5GeV Damping Ring
パンチコンプレッサー Bunch Compressor
245GeV超伝導主線形加速器 245GeV Main SC-Linac
陽電子生成用アンジュレーター電磁石 Undulator Magnet for Positron Generation
陽電子生成用ターゲットと陽電子収集システム Target and Capture Section for Positron
(陽電子加速器に接続されます Positron is sent to Positron Accelerator)
最終収束システム Final Focus System
衝突点 Collision Point
ダンプリンとビームダンプ Dump Line and Beam Dump

陽電子側加速器の構成

Configuration of Positron Accelerator

陽電子生成用ターゲットと陽電子収集システム Target and Capture Section for Positron
5GeV超伝導入射線形加速器 5GeV Injector SC-Linac
5GeVダンピングリング 5GeV Damping Ring
パンチコンプレッサー Bunch Compressor
245GeV超伝導主線形加速器 245GeV Main SC-Linac
最終収束システム Final Focus System
衝突点 Collision Point
ダンプリンとビームダンプ Dump Line and Beam Dump



ILC検出器

ILC DETECTORS

250GeV電子ビームと250GeV陽電子ビームとの衝突点(IP)に置かれる衝突反応検出器は非常に高い感度で一つ一つの反応粒子飛跡を捉えます。そのためビーム加速に付随して発生する不必要なバックグラウンド粒子を低く抑え、Y方向ビームサイズを5.9nmまで小さく絞り込み、さらに衝突後の発散していくビームをうまくビームダンプへ導いて、衝突反応検出器が目的の反応を検出できるようにするのが最終収束光学系です。また、非常に小さいビーム同士の衝突を維持するためには衝突点の地盤振動が非常に安定である必要があります。さらに常に衝突を維持するような高精度ビームフィードバックシステムも必要です。衝突反応検出器としてはILDとSIDという2つの検出器が計画されており、交互に実験に使用されます。

加速器トンネル

ACCELERATOR TUNNEL

硬い岩盤を伴う山岳地帯にILCを建設する場合には、全長約30kmのカマボコ型のトンネルを掘削することになります。中央にはコンクリートの仕切り壁を設けてクライオモジュールを設置する加速器トンネルと、RF電力を生成供給する電源トンネルとに分けます。加速器機器の地表からの搬入には、山腹から傾斜のゆるいアクセストンネルを使用します。

クライオモジュールで構成する主線形加速器 MAIN LINAC CRYOMODULES

ニオブ (Nb) 製の空洞を超伝導状態で運転するため、空洞の外側をジャケットで覆い絶対温度2度の液体ヘリウムを満たします。ジャケット内で気化するヘリウムガスはガスリターンパイプを経由してヘリウム冷却装置に還流していきます。頑丈なガスリターンパイプは超伝導加速空洞ユニットを吊り下げていて、それらの保持も兼ねています。超伝導加速空洞ユニットは絶対温度5度と80度に保たれる2重の断熱シールドで囲まれ、その全体は長い円筒状の真空容器に収められています。それらが一体となったものをクライオモジュールと呼びます。それぞれの超伝導加速空洞ユニットにはクライオモジュール外側からRF電力を供給するインプットカップラーが接続されています。

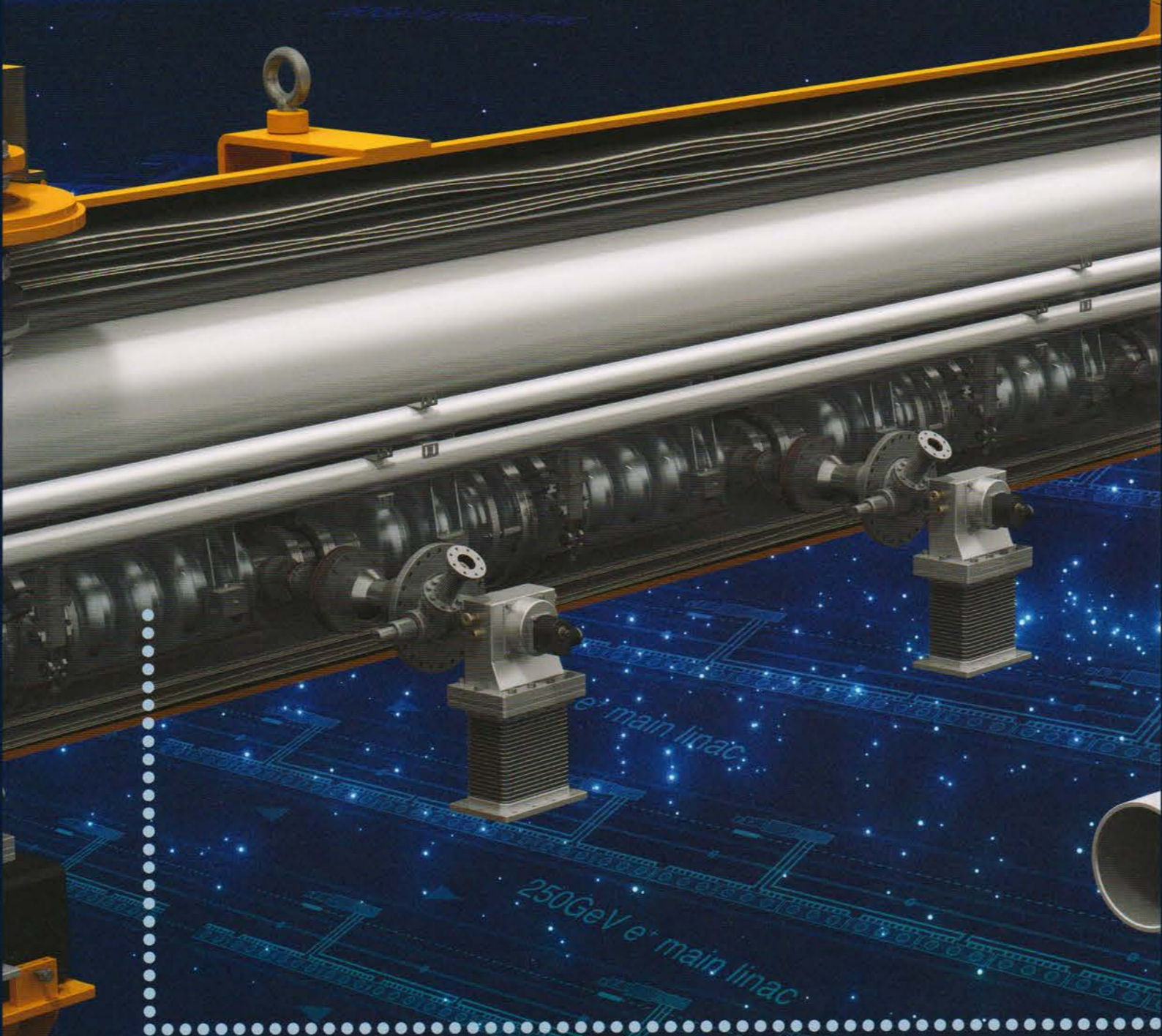


クライオモジュール CRYOMODULE

クライオモジュールは、超伝導加速空洞ユニットや超伝導4極電磁石、ヘリウム冷却システムおよびヘリウム冷却系を断熱する真空断熱容器から構成される、直径1m、長さ12mの加速ユニットモジュールです。クライオモジュールには超伝導加速空洞ユニット9台を取納するタイプと、超伝導加速空洞ユニット8台と超伝導4極電磁石1台を取納するタイプの2つのタイプがあります。

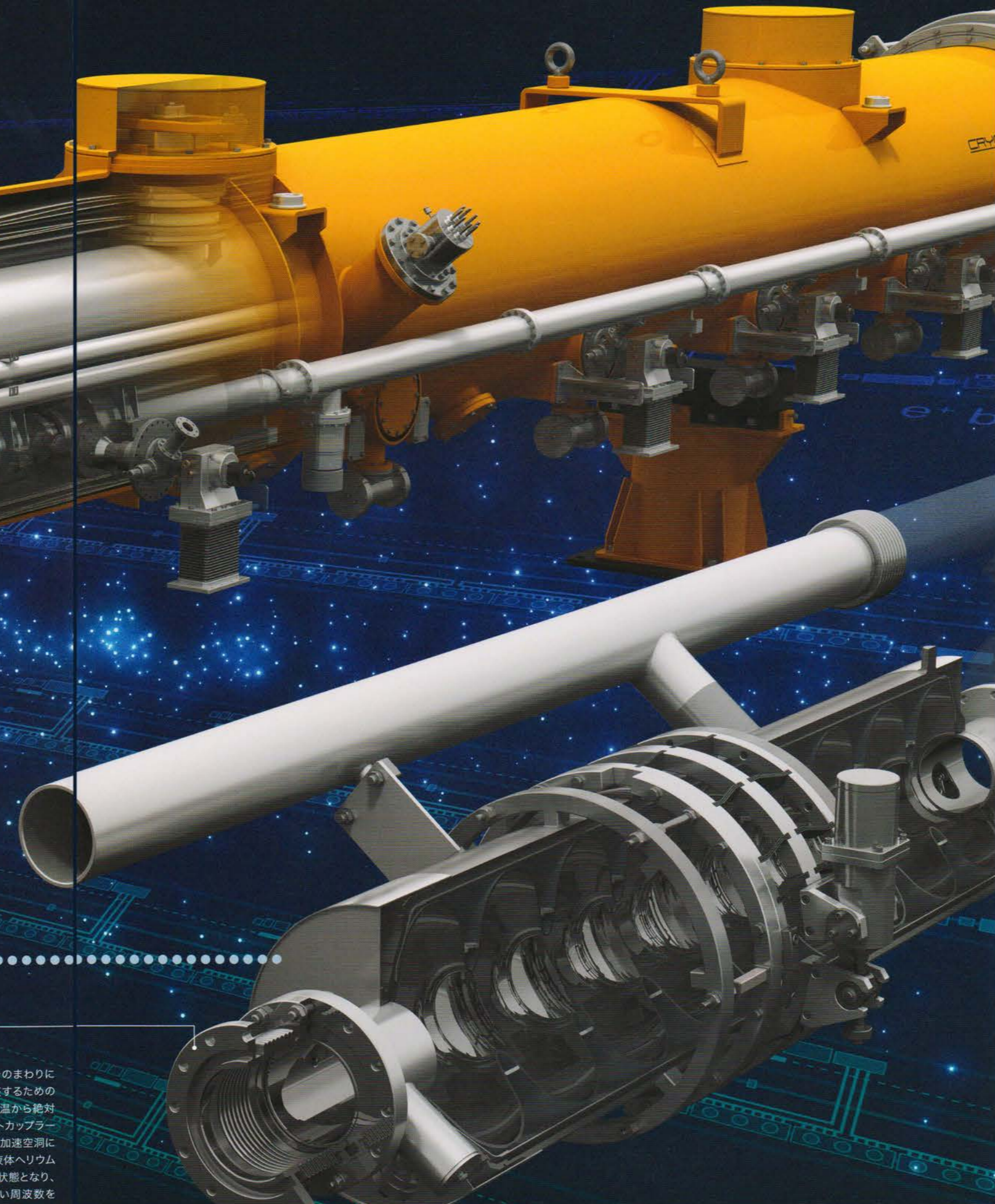
主線形加速器に必要な台数	Required Number of Units (E _{CM} =500GeV)
超伝導加速空洞ユニット Superconducting Cavity Unit	14,742台
クライオモジュール Cryomodule	1,701台
マルチビームクライストロン Multi-Beam Klystron	378台

これらを各国のハブ研究所が中心となって9年間のうちに製造し、全長31kmの地下トンネル施設に据付けます。



超伝導加速空洞ユニット SUPERCONDUCTING CAVITY UNIT

超伝導加速空洞ユニットは、加速勾配31.5MV/mの9セル超伝導加速空洞、そのまわりに液体ヘリウムを充填させるヘリウムジャケット、空洞の共振周波数を維持し調整するための周波数調整機構などが一体となったシステムです。大電力RF入力ポートには室温から絶対温度2度の超伝導加速空洞への熱侵入を抑えながらRF電力伝達を行うインプットカップラーが接続されます。このインプットカップラーによりパルス状の大電力RFが超伝導加速空洞に充填され、内部の中心軸上に電子や陽電子を加速する電場が生成されます。液体ヘリウムにより絶対温度2度に冷やされたニオブ (Nb) 製の空洞は電気抵抗のない超伝導状態となり、わずかのRF電力で非常に高い加速電場を発生できます。また、1.3GHzの低い周波数を採用する事によりビームの通過口径を大きくできますのでビームが引き起こすウェーク場の影響を小さくでき、ビームエミッタンス増大を抑える事ができます。このような超伝導加速空洞を使用する主線形加速器では、空洞の加工寸法精度、設置位置精度、そして機械的振動の抑制精度の規定値をゆるくする事ができます。



インプットカップラー RF INPUT COUPLER

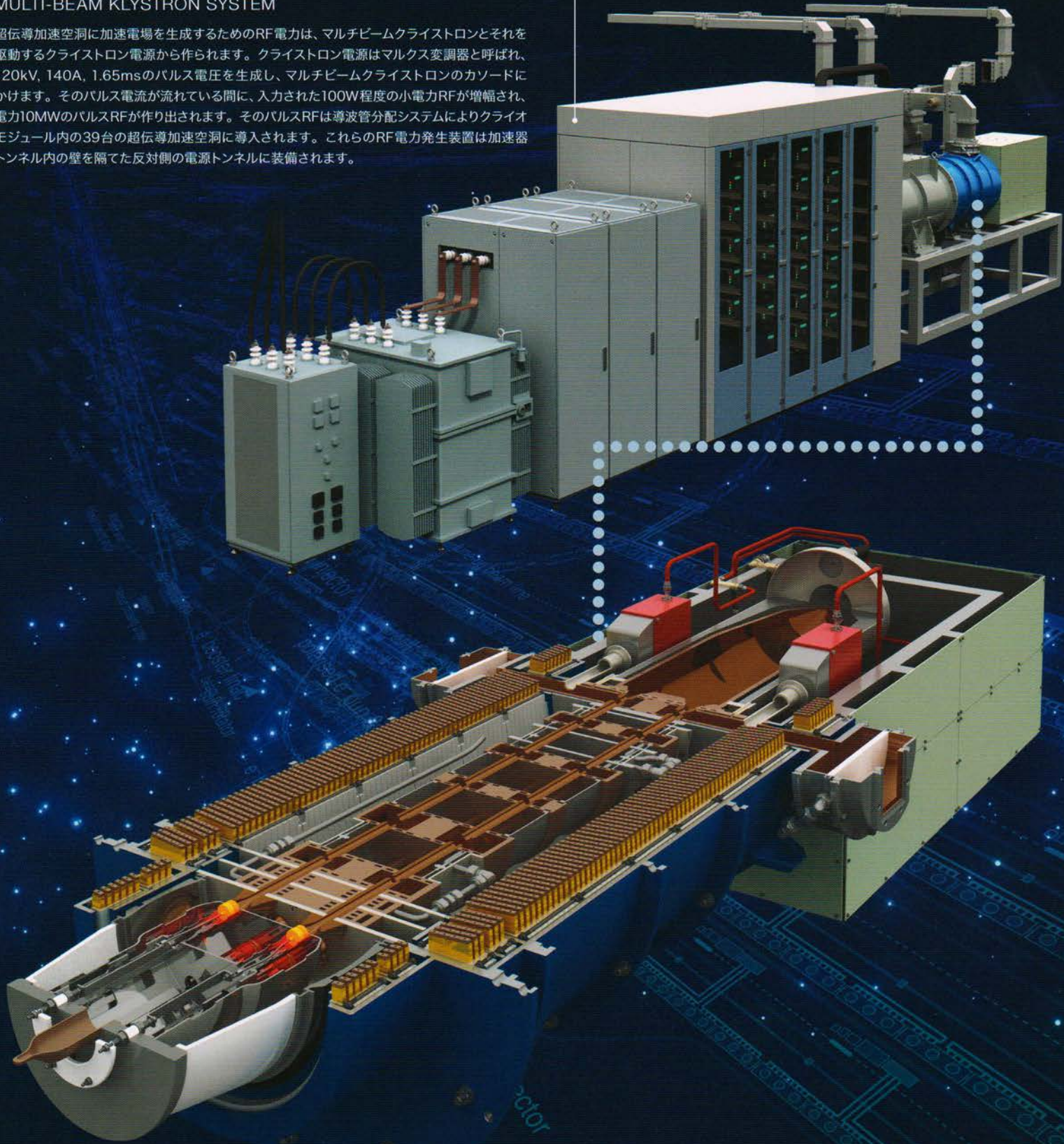
1.3GHz RF電力を矩形導波管から同軸導波管に変換し、超伝導加速空洞内に突き出たアンテナからRF電力を供給します。同時に極低温から室温までの断熱も行う必要があります。



マルチビームクライストロンシステム

MULTI-BEAM KLYSTRON SYSTEM

超伝導加速空洞に加速電場を生成するためのRF電力は、マルチビームクライストロンとそれを駆動するクライストロン電源から作られます。クライストロン電源はマルクス変調器と呼ばれ、120kV、140A、1.65msのパルス電圧を生成し、マルチビームクライストロンのカソードにかけます。そのパルス電流が流れている間に、入力された100W程度の小電力RFが増幅され、電力10MWのパルスRFが作り出されます。そのパルスRFは導波管分配システムによりクライオモジュール内の39台の超伝導加速空洞に導入されます。これらのRF電力発生装置は加速器トンネル内の壁を隔てた反対側の電源トンネルに装備されます。



マルチビームクライストロン

1.3GHz 10MW MULTI-BEAM KLYSTRON

マルチビームクライストロンでは、100W程度の小電力RF（マイクロ波）が第一変調空洞に入力され、空洞を通過する電子ビームに速度変調がかけられます。後続の変調空洞による速度変調の結果、出力空洞では疎密の大きな電子ビームとなり10MWという大電力RFが作り出されます。その大電力RFは導波管分配システムによりクライオモジュール内の各空洞に導入されます。マルチビームクライストロンの特徴は、クライストロンの中の電子ビームが6つに分離され、それぞれのビームによってRF変調が行われる点にあります。この方式により、低い印可電圧で高いRF出力を得る事ができます。

大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構 (KEK)
リニアコライダー計画推進室

Inter-University Research Institute Corporation
High Energy Accelerator Research Organization
LC office <http://lcdev.kek.jp/LCoffice/OfficeAdmin/>

illustrations and design by Rey.Hori