ISSN 2186-5647

3-32

ILC の建設意義と省エネ

－The International Linear Collider－

理研　○藤縄　雅

1　まえがき

昨年ピーター・ヒッグス博士が「質量の起源の理解につながる機構の発見」でノーベル物理学賞を受賞した事は記憶に新しいものである。

この受賞は、欧州原子核研究機構（CERN）の円周 27km に及ぶ大型ハドロン衝突型加速器（LHC）においてヒッグス粒子を発見した事で理論が実証され受賞に直結したものである。

ヒッグス粒子は発見されたが、その性質他はこれからの仕事となる。しかしながら、陽子同士を衝突させる LHC では、年間数個しかヒッグス粒子を取り出せない。円形加速器である LHC では、今後の発展に限界があり、電子と陽電子に高エネルギーを与え光の速さまで加速し衝突させる直線加速器である International Linear Collider (ILC)[1] の建設が、世界中の核物理学者より期待されている。ILC は世界中の技術と資金を集め、世界に 1 ヶ所の建設予定であり、岩手県北上山中が最有力である。建設推進の為、超党派のリニアコライダー国際研究所建設推進議員連盟（約 150 名）と先端加速器科学技術推進協議会（AAA）[2] が中心となって日本誘致を努力中である。AAA には本年 10 月現在、日本を代表する企業 99 社と 40 の日大や理研仁科加速器研究センター[3] 等の大学と研究機関が加盟して活動を展開中である。

2　ILC と電気設備

ILC は直線 30 km に及ぶ直線加速器が土中に設置され、将来は 50 km まで延伸される予定の装置である。超電導加速空洞とクライストロンと呼ばれる高周波電源が中心技術となる。

建設費は、日本に建設される場合、8000 億円を超えると予想され、その半分を日本が負担、残りを全世界が負担するものである。そしてその大半がトンネルに代表される土木建築費と考えられる。

国際研究機関の日本への誘致は、国際宇宙ステーションは米国主導で、核融合研究施設を仏国に取られた文科省の悲願であり、中印の台頭の著しいアジアにおいて、日本にとっては ILC が最後の機会と考えられる。

現在の Fig.1、2、3 に ILC の変電配電設備を示す。

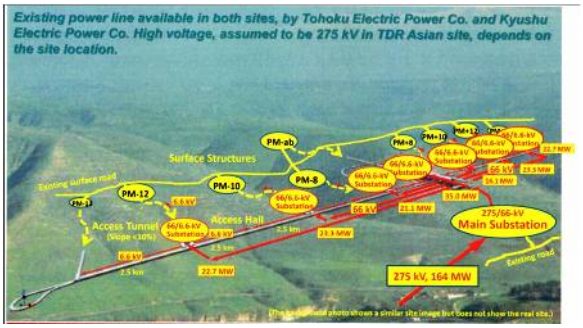

Fig.1　Technical design review (TDR) に示された概念受配電設備　275 kV 受電, 66 kV 配電計画

The Significant and Energy Saving Technology for the ILC

－Construction of the International Linear Collider－

Tadashi FUJINAWA

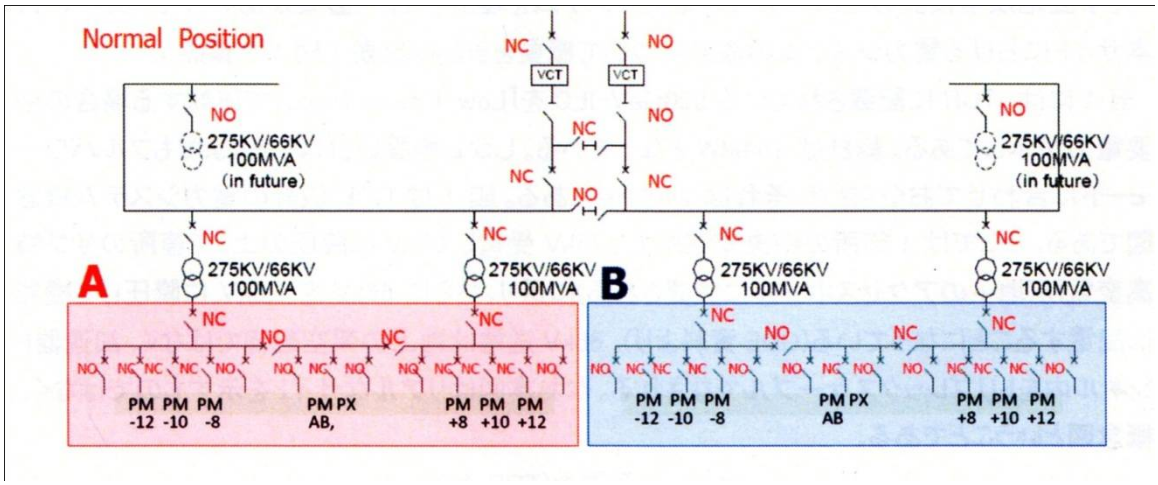

Fig.2 特別高圧 275/66 kV100 MVA 変圧器を 4 基準備し、2 回線受電の変電配電設備

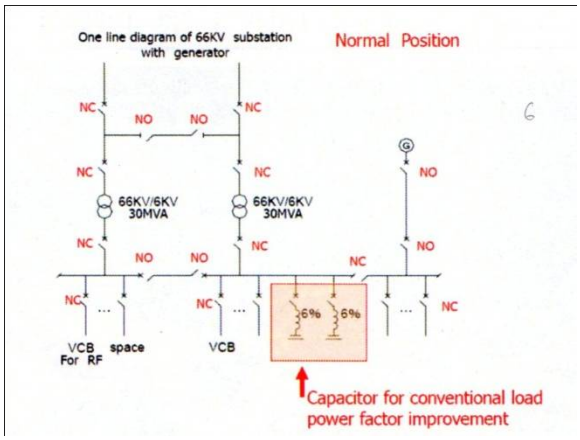

Fig.3 66/6.6 kV 300 MVA 変圧器を 2 基を備えた変電所を 7 ヶ所準備

上記の計画は、高エネルギー加速器研究機構（KEK）が、設計会社に依頼して作成したものであり、著者から見ると多くの問題がある。次に項目ごとに疑問点を説明する。

1）275 kV 受電

ILC の消費電力は最大 200 MW を計画しているが、200 MW 程度の消費電力では、154 kV 受電が一般的であり、275kV 受電は電力会社以外は JR 以外に例がない。例えば、千葉県にある新日鉄住金君津製鉄所や JFE 千葉製鉄所そして三菱油化鹿島他全て最大が 154 kV である。

2）経済性

275 kV は 154 kV に比較し、大型電源に直接接続され基幹送電網と言う利点はあるが、国内では、日立、東芝、三菱の 3 社のみからしか購入ができず、154 kV に比較し驚くほど高価である。

計画では全てに 2 倍の容量と個数（予備）を用意しているが、物が増えると言う事は、経済性を全く考慮していない設計と言わざるを得ない。もし予算に余裕があるならば、加速器や超伝導冷凍機に資金を投入すべきであり、無駄は省くべきものである。

200 MW を年間 6500 時間消費すると、電気代は約 300 億円/年が予想される。現在の単線結線図では、変圧器の数が非常に多く 275/66 kV と 66/6.6 kV が直列接続されている。変圧器には、鉄損と銅損が必ず発生し、鉄損は負荷に関係なく発生するものであり、無駄な消費電力を増加させる事になる。

3）信頼性

2 回線受電とし、万全の態勢に思われるが、2 回線が一つの鉄塔にぶら下がっている訳で、過去において、自衛隊の T-33 練習機が 2 回線とも切断した例や、クレーン船が河を渡る送電線を切断し東京の江東地区が長時間停電した事例、さらには、地震や積雪による送電鉄塔の損傷があると 2 回線受電の意味をなさないのみならず、2 回線受電料の基本料金が嵩むものである。福島第一原子力発電所の電力損失事故は、津波による非常用発電機の停止以前に、強いはずの送電線網が倒壊した事に端を発して

いる事を忘れてはならない。

275/66 kV と 66/6.6 kV の変圧器が直列に接続されている事は、開閉器や母線を含めどちらか一方が故障した場合、残りが健全であっても、機能喪失に至る事は明白である。

4）代案(Green ILC)

上記 TDR に対し、著者らは、2013 年度に、先端加速器科学推進協議会大型 PJ 部会にて、本案と代案の価格などを検討を重ね、2014 年度には,同技術部会の Green ILC Working Group として取り纏め協議を重ねたものである。

上流から下流に向け解説する。

先ず、受電は 275 kV ではなく 154 kV とする。これは,200 MW 力率 1（Fig.3 に示す進相コンデンサーによる力率改善による基本料金の削減効果）では,電流が 420A 弱で、電力会社が 154 kV 送電を望む為である。

さらには、275 kV は 154 kV 機器に比較して極めて高価である。

受電形式は 2 つの異なる変電所から、別々に受電し、常時は半分ずつの電力をそれぞれ別の ILC 側変電所で受電し、万一片方が停電した場合は、常時 OFF の遮断器（GCB）を急ぎ投入し、停電の被害を最小にするものである。

次に変圧器は 154/6.6 kV 600 MVA を分散し 4 基のみ設置する。これにより 275/66 kV 変電設備を回避し、変圧器内の損失を最小とする。

TDR の大型変圧器 18 基がわずか 4 基となり上下の遮断器・断路器・母線の削減数は極めて大きく、原価低減に貢献するもである。

また装置が単純化する事は、故障率の低減となり、信頼性の向上にも貢献する。

1 次側を 60 MVA、2 次側を 30 MVA x 2 の 3 巻き線とする理由は、6.6 kV の VCB の入手可能な最大定格が 3 kA の為である。

本方式で高価な 154 kV Gas circuit breaker

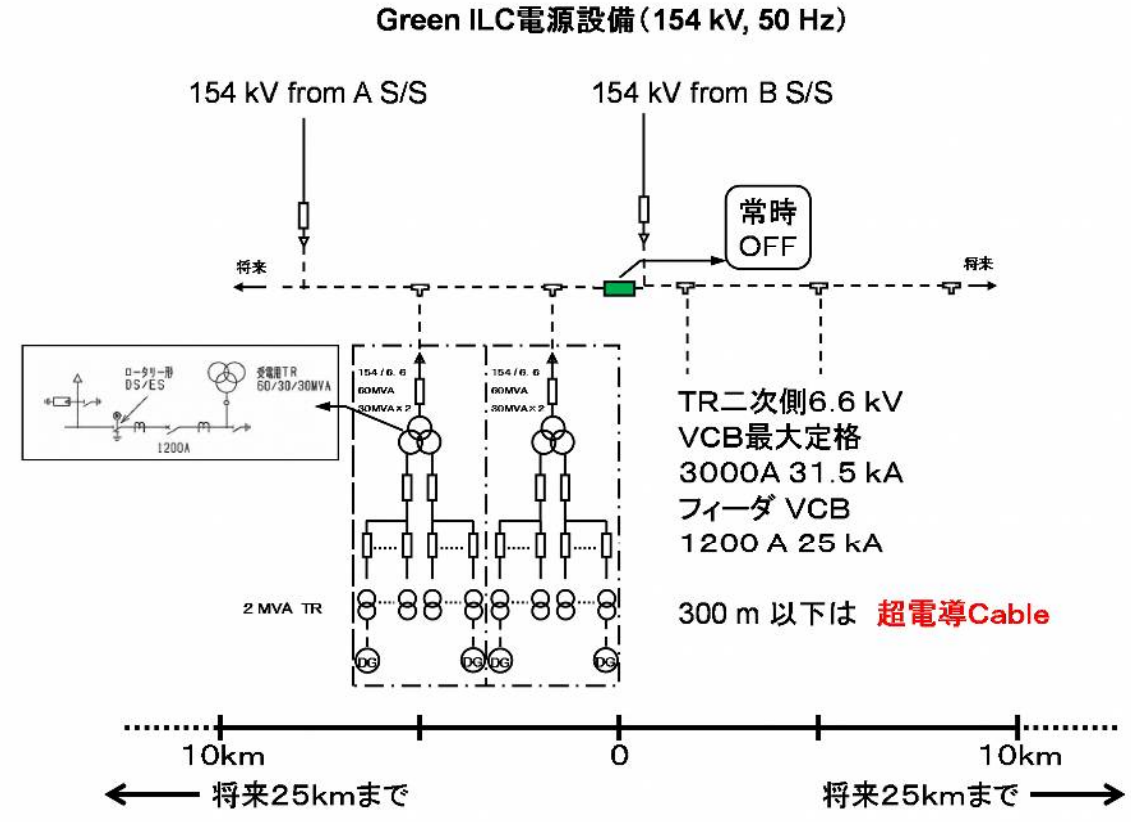

Fig.4　Green ILC　単線結線図

(GCB) の数を半分に削減した。

これらの改善によって変圧器の効率を 99%とすれば、直列配列にて 1%の損失削減、変圧器容量が 4 x 100 MVA+14 x 30 MVA=820 MVA が 4 x 60=240 MVA と 580 MVA の削減となり、鉄損を 0.02%とすれば、1,160 kW の無駄を省く事となる。年間の電気代を 300 億円と仮定すれば、413 百万円/年の削減となる。また変圧器購入金額も 2 万円/kVA とすれば、116 億円の無駄が省ける事になる。

154 kV を直接 6.6 kV に降圧する事に違和感を持つ人もあるが、国内の多くの原子力発電所の所内変圧器は 500 kV を直接 6.6 kV に変電している。加速器の例では韓国の Proton Engineering Frontier Project において 154/3.3 kV の例があり、特別な技術開発を必要とするものではない。また理研では RIBF 建設時にその消費電力が多くなる為一時 154 kV 受電を検討した。その交流電源 [4] は当然 154/6.6 kV 配電であったが、熱電併給装置（CGS）[5]の導入により 66 kV 受電のまま運用可能となった。

構内配電は、200MVA を 154 kV で送電すれば、750 A に対し、TDR の 66 kV 配電では、1,750 A となり $P = I^2R$ より 154 kV の優位性が明確である。近年日本では超電導ケーブルの開発が進んでおり、ILC 建設時には、300 m 未満の 154 kV 配電は超電導化する事が可能と考えられる。ILC の関係者は超電導の取扱いに慣れており、電力会社他の超電導導入より、維持管理の面で 1 日の長がある。

但し超伝導加速器空洞はヘリウムを用いたマイナス 270℃の超伝導、ケーブルは窒素を用いたマイナス 160℃前後の高温超電導ケーブルとなる。

3. その他の省エネ技術

1）電動機

理研の経験から ILC では、冷却系のポンプ類の駆動に 30 MW の動力を、加速器運転中は常時必要である。電動機は全て高効率電動機を使い無駄を省くことが肝要である。現時点の低圧電動機では、94%が最高効率品が購入可能である。例えば 2%の効率の差が電気代 6 千万円/年となる。

電動機起動方式は加速器施設においては、常時定速定負荷の為、インバーター起動及び速度制御は、インバーターの効率が 92%から最良で 98%の為、省エネと原価低減に反する事になる。加速器施設は十分な電源を持つため、電動機は全て直入起動方式が最適であり、それ以外の起動方式はいずれも百害あって一利なしである。これは、極低温冷凍機にも当てはまるものである。

2）配電用変圧器

6.6 kV を 3 相 400 V(電動機他)と 210 V, 単相 230 V(欧州製品用)、200 V と 100 V を各所に分電する必要がある。この変圧器も高効率を用いる必要がある。トップランナーと言う称号は高効率の中では最高効率ではないので、数値を確認する事が肝要である。理研の最新の高効率変圧器は 99.4%である。

4. まとめ

ILC はその期待できる成果に対して、消費電力が比較的大きな事が弱点である。

この点からも計画にあったては、少しでも省エネになるように考慮する事で、建設費のみならず、運転費用の削減も考えるべきである。

「参考文献」

1） http://aaa-sentan.org/ILC/

2） http://aaa-sentan.org/

3） http://www.rarf.riken.go.jp/

4） 藤縄 雅, 理研仁科センター RI ビームファクトリーの電力供給方式 日本大学生産工学部第 43 回学術講演会（2010-12-4）p.2-5

5） 藤縄 雅, 矢野安重, 大型加速器施設用無停電電源としての熱電併給装置の実績と考察「加速器」Vol.8,No.1 (2011) p.18-25