

# ILCにおけるエネルギー・マネージメントに関する考察と提案

## A PROPOSAL ON ENERGY UTILITY MANAGEMENT OF THE ILC

石田聖<sup>#A)</sup>、吉岡正和<sup>B)</sup>  
Hisashi Ishida<sup>#A)</sup>, Masakazu Yoshioka<sup>B)</sup>  
<sup>A)</sup> Sojitz Corporation, <sup>B)</sup> Tohoku and Iwate University

### Abstract

Peak electric power capacity in the ILC first phase of the plan will be 164 MW and annual power consumption will be up to one billion kWh. In our experience of large-scale accelerator facilities, the maximum peak electricity load was 96 MW in TRISTAN (59% of ILC) and the maximum annual power consumption was 500 million kWh in B-factory (50 % of ILC). Reduction of research facility CO<sub>2</sub> emissions is a serious concern thus the ILC design is based upon superconducting RF technology which is optimized to obtain high luminosity using as little power as possible. In addition great effort has been made to improve the power efficiency of all of the accelerator components and to recover the power from the spent beam after collision. Due to the large volume of liquid helium stored in the ILC (about 660k liters), the electric power system should be highly reliable and an enough redundancy. Therefore, the power to be used in the ILC, will likely be supplied from the commercial power grid and by using the gas cogeneration system (CGS).

In this paper, we would like to propose that the air-conditioning of the research facility be powered by woody biomass and solar thermal energy sources and that in addition waste heat produced by the facility will be utilized by local industries. These are some of the methods we would like to propose in order to realize the goal of being a “Green ILC”.

### 1. ILCにおけるエネルギー・マネージメントに関する考察と提案

国際リニアコライダー（ILC）は大きな電力負荷施設である。第1期計画におけるピークパワーは164 MW、年間消費電力は運転時間にもよるが10億 kWh程度あるいはそれ以上になる。これまでの我が国の加速器施設における経験ではTRISTANの最大ピーク電力（契約電力）は96 MW（ILCの59%）、最大年間使用電力はB-ファクトリーの5億 kWh（ILCの50%）であった。この電力は全て熱負荷となり冷却水で冷やされ最終的には冷却塔から空中へ放散されている。

近年、研究施設といえども、また加速器施設のような大きな電力施設においてはなおさら、CO<sub>2</sub> 排出量について、それをミニマムにするような努力を払うことは、社会に容認される施設としての条件ということが国際的なコンセンサスとなっている。国際ILC開発チーム（現在はLCC: Linear Collider Collaboration）の設計はそのための努力が払われており、全体パラメーター選定においては最小電力で最大性能（エネルギーとルミノシティ）が得られるようになっている。またクライストロンなど多くの加速器機器の電力効率をできるだけ改善する努力がKEKや国際チームにより粘り強くなされている。

次に電力システムに要求さ

れる項目について考察する。ILCの特徴の一つは膨大な量の液体ヘリウム（660 kl）を使用するところにある。LCCの設計では大部分の液体ヘリウムは液相のまま貯蔵することになっており、そのためには一定程度の電力は「絶対に」確保しなければならない。その電力量はLCCにおいて検討中であるが、本稿では作業仮説として10 MWと仮定する。この他にも緊急時の避難や安全システム、排水ポンプなど優先度の高いシステムがある。それらを合計して、164 MWの10%の16 MWを停電等の事故時も確保すべき電力と仮定する。

エネルギー源としてもう一つ必要な施設はトンネル内空調のための冷温水製造設備である。ただし、そのための電力の優先度については低くしてもよいであろうが、そこでは再生可能エネルギー利用についても併せて考察したい。

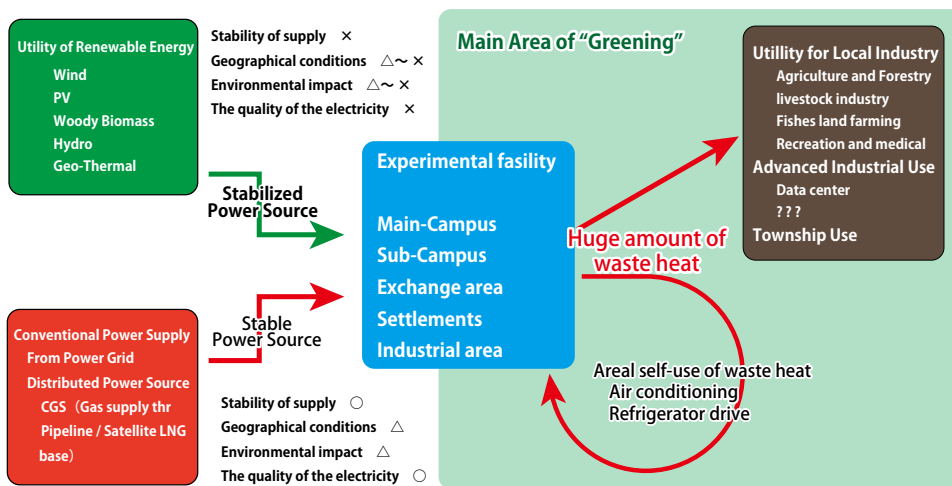


Figure 1: Where we should make a greening in the ILC project.

## 2. 安定な電力供給と Green ILC の考え方

再生可能エネルギーによる電力供給が最も直截的な「Green化」の方法で、先端加速器科学技術推進協議会 (Advanced Accelerator Association Promoting Science & Technology) では、Denis Perret-Gallix 氏らをはじめ様々な検討がなされている[1]。また加速器設計最適化や衝突後のビームエネルギー回収に関する研究は LCC や KEK 等で既に検討されている事項であり、筆者らの任ではない。本稿では視点を換えた提案をしたい。Figure 1 にその考察のためにベースとなるチャートを示す。

筆者の一人 (石田) は、東北地方でこれまで様々な再生可能エネルギー電源の開発に従事してきた。その結果、主たる安定電源として再生可能エネルギー電源を北上山地で確保することは、現状では困難が伴う。

すなわち、太陽光発電、風力発電については、電源の安定化設備と併せて使う必要がある。南部北上山地中軸の山稜部は風況がさほど良くないこともさることながら、林野庁の「北上高地緑の回廊」[2]に指定されており、猛禽類の生息域とも重なり、立地が非常に困難である。地熱発電については、北上山地のポテンシャルは低い。すなわち、東北日本の火山フロントから海洋側の地域は、火山フロントが超長期にわたって安定であり、これらの地域には火山活動は存在せず、地殻熱流量も低いためである。

一方、後述のとおり、小水力とバイオマスの利用については、相当量のポテンシャルが期待され、発電に至らないまでも、熱利用など多面的な検討を進める必要がある。

総合的な観点から、あくまで現状の技術レベルで考えた場合としてはあるが、ILC 研究施設の主要電源

は従来型の商用系統電源と自家発電装置の組み合わせが適当であると考えられる。

そのため、本稿においては候補サイト近傍にある商用グリッドから 90% の供給を受け、10% を常時運転のコージェネレーション (combined heat and power, 熱電併給、以下コジェネ) で賄うことを提案する。この方式は和光市の理化学研究所 (以下、理研) において超伝導サイクロtron施設のため設置され 2003 年より稼働している前例がある。そこではガスタービン発電機の排熱を空調用冷温水製造に用いているため、トータルの効率は極めて高い[3]。理研では高速遮断機経由で商用グリッドとの系統連系をとっており、安定に運用されている。ILC ではコジェネを 3 ~ 4 台で構成し、1 基を順次スタンバイにして運用すれば冗長性はさらに高まり、法令点検や保守作業にも対応できる。

環境特性と供給の安定性から、コジェネの燃料は天然ガスを使用することが望ましいと考えるのがいかにであろうか。その場合、ILC 地区においては、都市ガスインフラが無いため、Figure 2 の様なサテライト基地を設け、近隣の LNG 基地からの LNG ロリー輸送に依存することとなる。例えば、10 MW のガス焼きコジェネには、約 7,000 トン/年の LNG が必要であり、標準型のローリーで約 500 台/年での運搬が必要である。さらに、サテライト基地で熱量調整・付臭などを行い、近隣への都市ガス配管を行えば、近隣に都市ガスを供給できる。

## 3. 排熱回収と持続可能エネルギーの利用

### 3.1 ILC 研究施設からの排熱利用

さて、では Green 化をどこで図るかであるが筆者らは ILC からの排熱を徹底して再利用することにより実現することを提案する。前節で俯瞰したようにエネルギーフローで考えれば、年間 10 億 kWh 級という電力は仕事をした後全てが非常に低密度のエネルギーという形になって地上に輸送される。従来はこれを冷却塔で蒸発潜熱を利用して空中に放散していたが、この熱エネルギーを再利用するのである。地下トンネルから地上に輸送された冷却水リターン路の水温は LCC の詳細設計によらねばならないが、せいぜい 70°C か、あるいはそれより低いことが推定される。このような低密度エネルギーを電力として回収することは効率が極めて低い。そこで筆者らはそれを「熱エネルギー」として農林業といった一次産業に有効利用することを提案する。

そもそも ILC 候補サイトである北上高地をはじめ東北全域は農林業 (沿岸部は水産業も) が極めて活発な地域であり、食料、建築用木材の自給率は 100% を超えている。Figure 3 にその考え方の一例を示す。

冷却塔付近で採取された熱は、追い焚きボイラー、冷凍機、ヒートポンプ等を介して、適温に変換され、各種農業・水産業に利用することを想定する。

農業分野では、近年、トマト、パプリカ、葉物野菜などの高度管理型施設農業が盛んになってきている。冬季に非常に寒冷となる北上山地においては、排熱利用により、冬期でも化石燃料に頼らない温度管理が可能となる。夏期には、多くの園芸作物が高温により、端境期を迎える。冷涼な北上山地の地域特性、さらに排熱を利用して、端境期にこれらの作物の高価格帯での

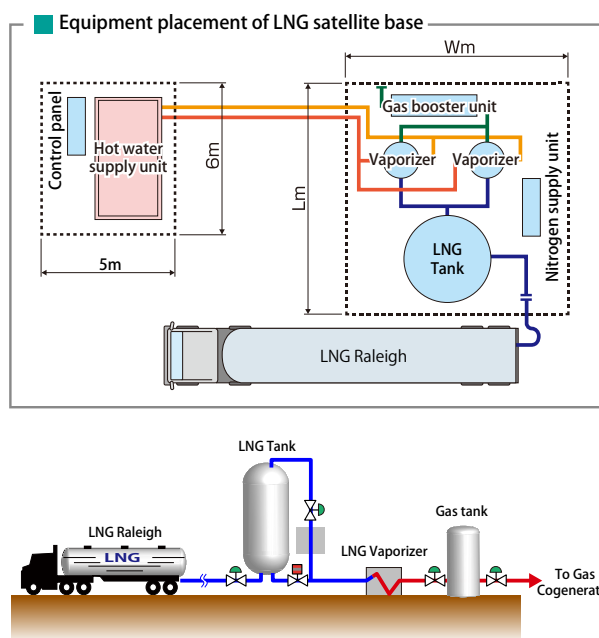


Figure 2 : Overview of a LNG satellite base (Source: compiled from JFE Engineering Inc.[4] and other materials) .

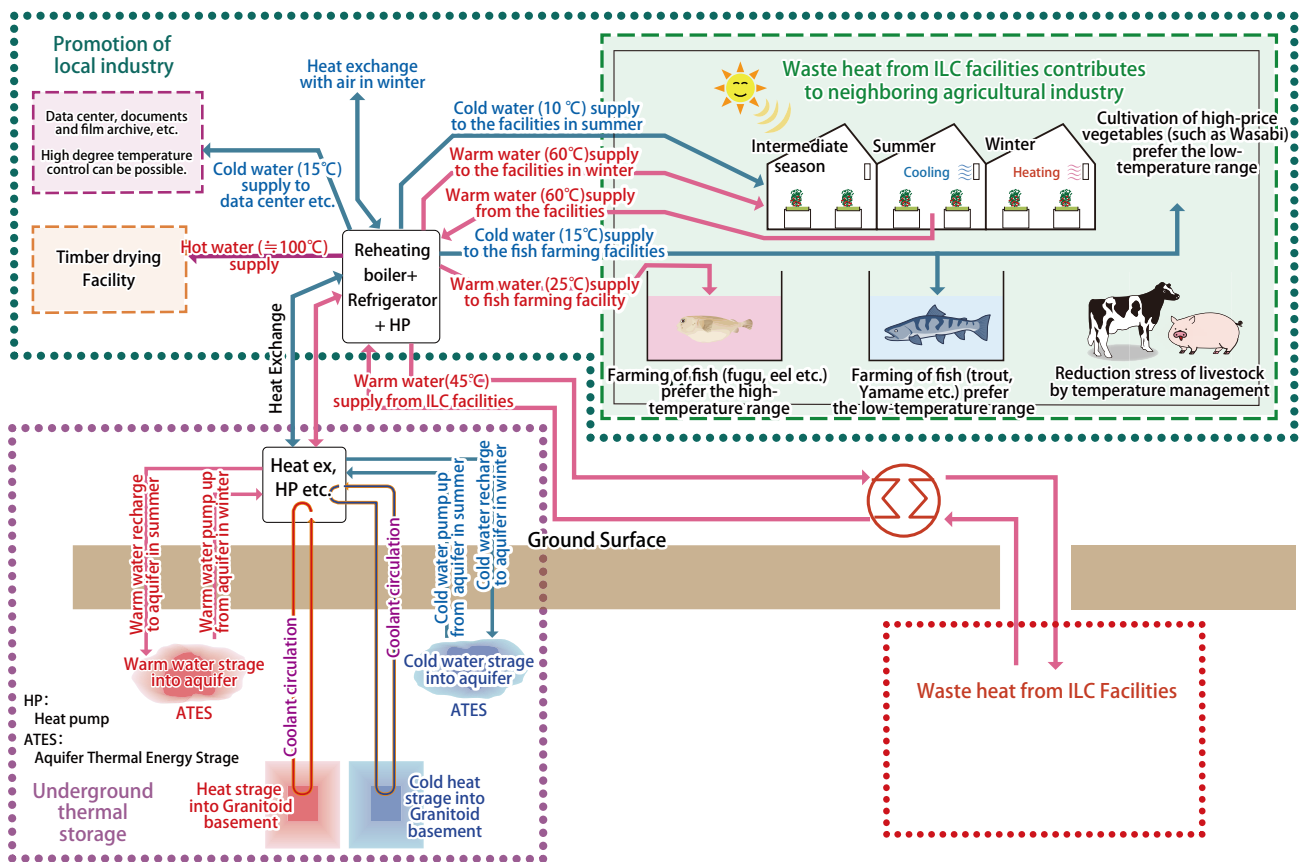


Figure 3 : The utility of waste heat from ILC facilities for local industries.

出荷が可能となる。

水産分野では、陸上養殖が可能となる。淡水魚ばかりでなく、人工海水を使つての海水魚の陸上での養殖は、高度肥育管理ができ、病気が防げること、トレーサビリティが確保され、安全・安心な生鮮食品として、近年注目されている。排熱が潤沢に使えることから、ILC地区で実現できれば、温度管理をおこなうことにより、肥育速度や食味の向上が期待される。

畜産分野では、古くから畜産業が地域産業として定着している北上山地では、冬季の寒さはこれらの家畜にとって、一定のストレスを生んでいる。そこで、排熱を畜舎の暖房等に用いれば、生産性の向上が図れることが期待される。

### 3.2 コジェネ施設からの排熱利用

想定されるコジェネ施設からの排熱は、高温で安定性も高く、エネルギー密度の大きな良質の排熱と言える。

こうした高品質の排熱を使えば、Figure 4 に示したように、各種冷凍機等を介して、「カスケード」的に利用すれば、さまざまな適温水等の製造ができる。

農業分野、水産分野、畜産分野では、前述の ILC 研究施設からの排熱ばかりでなく、コジェネからの排熱を適切に使えば、さらに効果的となる。

地域の産業振興を進めていく上で、いくつかの派生産業分野も考えたらどうであろうか。例えば、地域で生産された農水産物の加工（いわゆる「六次化」工場）、木材加工などである。これらに、適温水等を供給するこ

とができる。

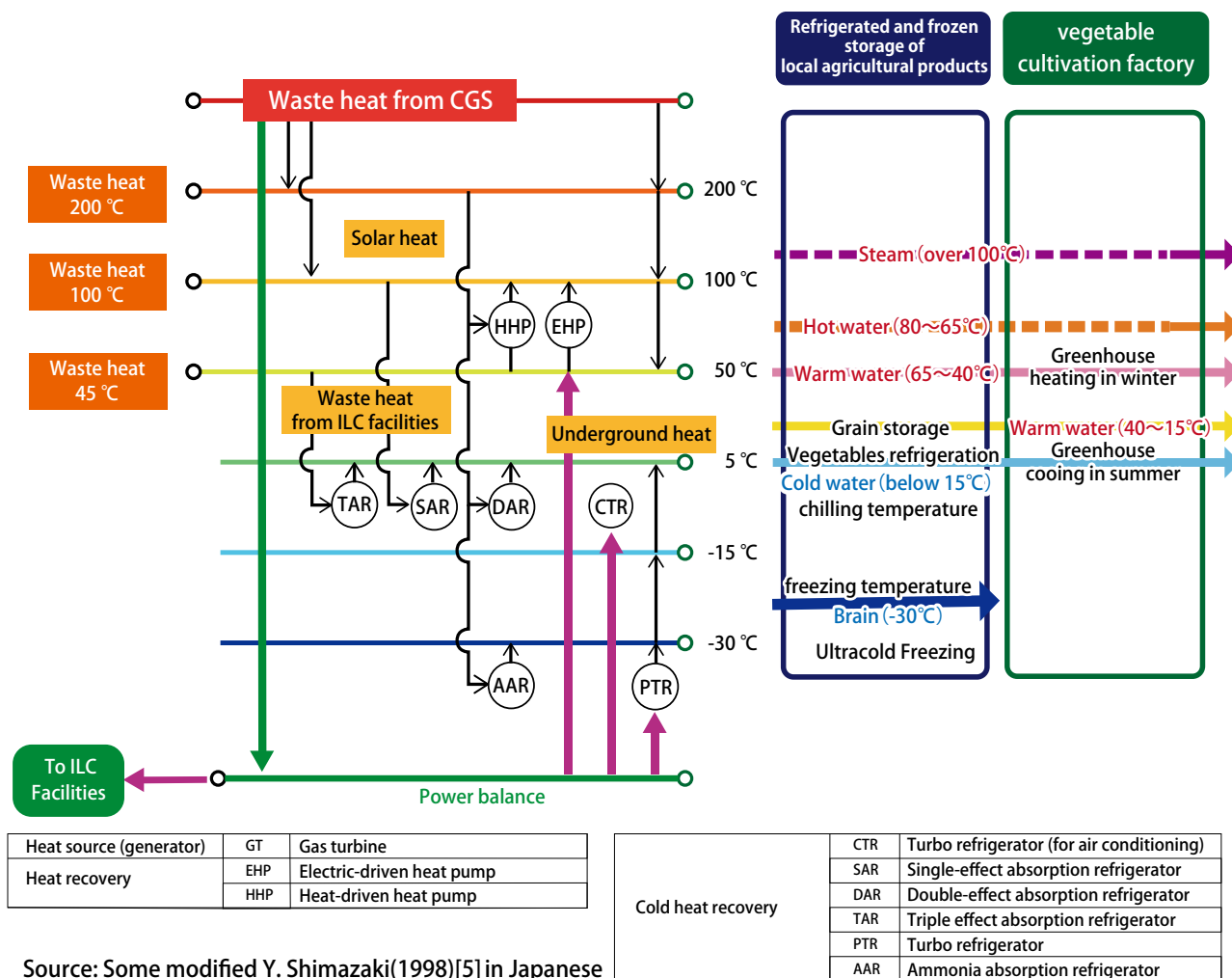
もちろん、ILC の研究施設等の冷暖房を排熱で十分賄うことができる。そのほか、データセンターの温度管理等、この良質な排熱の用途は多岐にわたる。

さらに、ILC 地区は、域内で廃棄物等も処理し、「ゼロエミッション」地区に近づける努力をすべきであると考えられる。「六次化」工場の廃棄物、生活ごみ等を有用化するためにもバイオガス・プラントの設置が望まれる。排熱はここでも、発酵促進等に有効に使用される。

### 3.3 再生可能エネルギーの積極的な利用

北上山地には、木質バイオマスはじめとして、多くの供給可能性のある再生可能エネルギー源がある。そこで、万一供給不安が生じても研究活動に大きな影響を与えない再生可能エネルギーの積極的な利用を考えた。Figure 5 に、トンネル空調のための冷凍機機能の一部を木質バイオマスおよび太陽熱を使った冷凍機で補完した場合のイメージ図を示す。

北上山地は、日本でも有数の森林資源に恵まれた地域である。CLT（CLT：Cross Laminated Timber の略称で、ひき板を並べた層を、板の方向が層ごとに直交するように重ねて接着した大判のパネル）製造などの高度建築資材の製造を考えれば、木材需要の喚起、製材・木製品加工産業の立地、間伐の促進、製材端材の集積などによって、木質バイオマス利用の好循環が生じると思われる。木材乾燥には前述の通り、コジェネおよび



Source: Some modified Y. Shimazaki(1998)[5] in Japanese

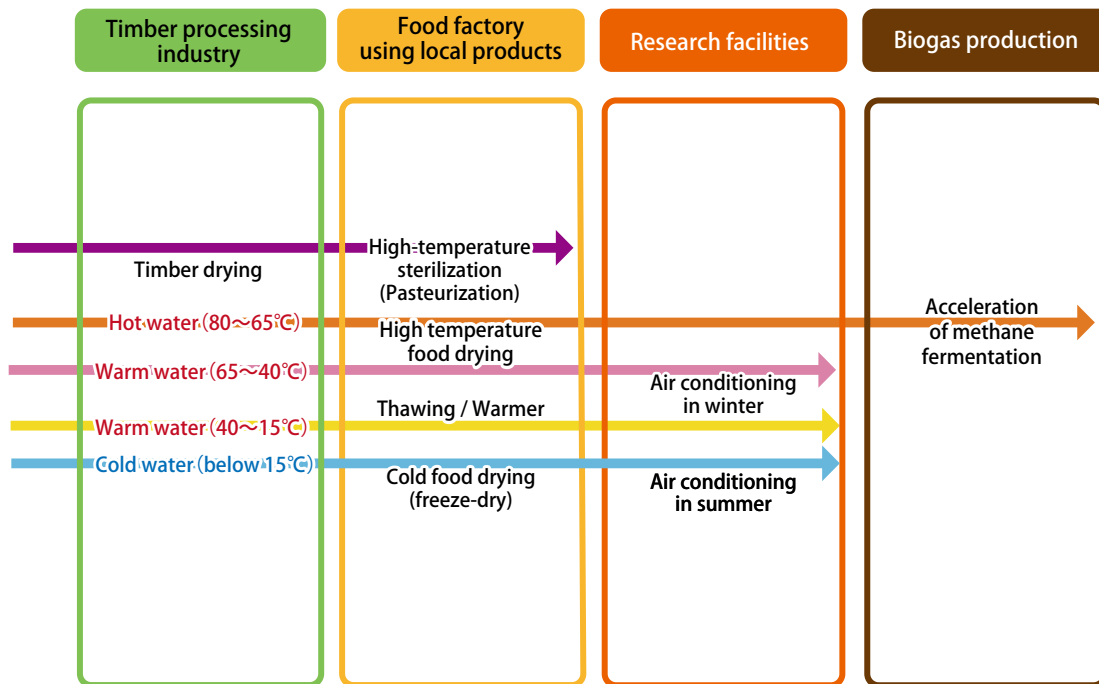


Figure 4 : Heat utilities as “Cascade” style, which derived from research facilities / distributed power plants in the Kitakami ILC site.

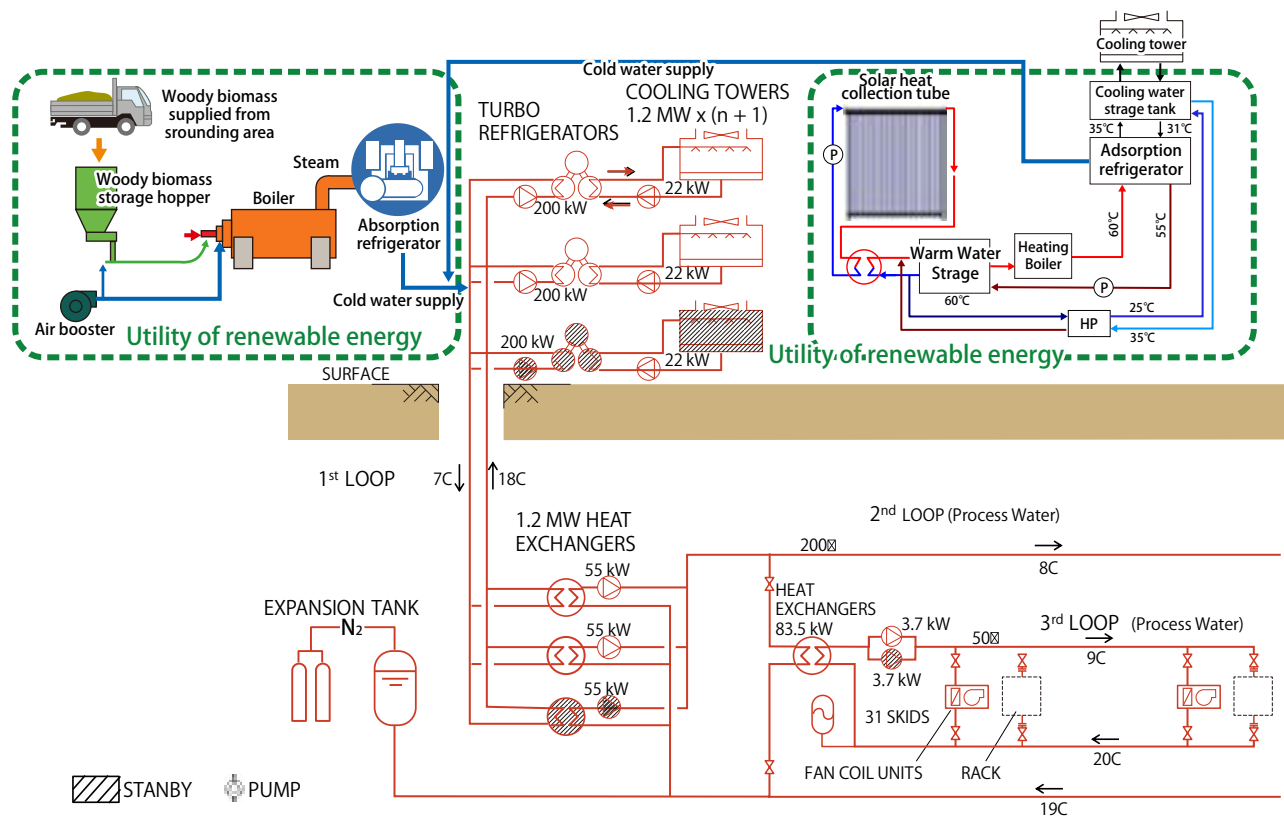


Figure 5 : The chilled-water system (access hall 3)[6] with utility of woody biomass and solar thermal energy.

研究施設からの排熱がおおいに寄与すると思われる。

木質バイオマスを用いた吸収式冷温水器は、近年各所で設置が進んでおり、小型（30～50冷凍トン：RT）のシステム開発が進んでおり、信頼性も向上している。

そこで、TDRに示されている、6カ所の地上部、それぞれ300 RT規模のターボ冷凍機の設置に加えて、100 RT程度の木質バイオマス冷温水器の設置を考えたかどうか。

北上山地は、東北地方にあつては比較的日照量に恵まれた地域である。前述の通り、太陽エネルギーは太陽光パネルを通して電源化する方法、熱を直接利用する方法が考えられるが、前述の通り熱エネルギーとして回収・利用し、また木質バイオマス利用と同様、6カ所の地上部に、太陽熱冷温水器を設置したらどうか。

#### 4. まとめ

ILC地区は、地域の特性を生かしたサステナビリティのある研究施設・街づくりが主要課題であると考えられる。

筆者らは、共通認識であるこの事項につき、研究の重要性から、研究電源は安定高品質の商用系統電源および冗長性の確保からコジェネの活用を提唱するものである。

一方、研究施設あるいはコジェネから排出される熱エネルギーは膨大であり、これらの回収・貯蔵・活用を考えれば、サステナビリティの向上に資すると思われる。熱利用を通して、地域の産業振興を果たすことができるとし、また再生可能エネルギーの熱利用を図り、総合的な低炭素化も実現できることになる。

#### 謝辞

本稿は、TDRで公表された数値や配置図をベースとして考察を行った。排熱利用に関し、高砂熱学工業(株)小久保孝氏からは、貴重な助言をいただいた。また、AAAのCIVIL部会ワーキンググループおよびILC施設設計グループ(早野仁司(KEK・岩手県立大)、岡村崇弘(KEK)、佐貫智行(東北大・KEK)、成田晋也(岩手大)、小貫勅子(東北大)(以上敬称略))の活動も参考にさせていただいた。ここに記して謝意を表すものである。

#### 参考文献

- [1] AAA グリーン ILC ワーキンググループにおける Denis Perret-Gallix 氏講演資料ほか。
- [2] 林野庁ホームページ；  
[http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu\\_rinya/sizen\\_kankyo/corridor.html](http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/sizen_kankyo/corridor.html)
- [3] 藤縄 雅「理研 RI ビームファクトリーにおける熱電併給設備」；  
[http://www.cit.nihon-u.ac.jp/kouendata/No.39/2\\_denki/2-016.pdf](http://www.cit.nihon-u.ac.jp/kouendata/No.39/2_denki/2-016.pdf)
- [4] JFE エンジニアリング(株) ホームページ。
- [5] 島崎洋一ほか(1998)：エネルギーカスケード型工業団地における最適エネルギー多段階利用モデルの開発；日本エネルギー学会誌 v.77, no.12 1193-1200.
- [6] TDR v.3 II p.188.