

8. キャンパス内の太陽光発電・風力発電の簡易提案・評価

福島大学金谷川キャンパス内に太陽光発電や風力発電を導入することを想定して提案と評価を行う。

現状の電気の利用状況から考えて、電力負荷の少ない時間帯でも太陽光発電や風力発電による電気が、東北電力(株)の送配電線に逆潮流することはない。また、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT：Feed-in Tariff）による売電も考えていない。

8.1 太陽光発電

8.1.1 太陽光発電ポテンシャル

8.1.1.1 概要

福島大学・金谷川キャンパス内の建物の屋上と、グラウンド東側法面に太陽光発電モジュールを設置可能なポテンシャルを表-8.1.1.1に示す。設置の提案にあたり、設置場所が、他の建物、自建物の塔屋やパラペット等の日影にならないことを調査した。また、建物ごとの柱の設置間隔等の建築の構造も考慮して選定した。

しかし、屋上の設置にあたっては、建築構造や屋上防水との関係もあり、実際の導入にあたり、詳細な調査を行い留意する必要がある。陸上競技場東側法面の太陽光発電モジュールの設置は、モジュールやパワーコンディショナを容易に見ることができることから学生や市民への啓発にもなり得る。

表-8.1.1.1 学内の太陽光発電モジュール設置による発電ポテンシャル

建物名称	キャンパスマップの番号 (図-8.1.1.1)	発電容量 [kW]	写真 No.
事務局棟	②	37.76	写真-8.1.1.1 写真-8.1.1.2
経済経営学類棟	⑤	21.24	写真-8.1.1.3 写真-8.1.1.4
行政政策学類棟	⑥	47.20	写真-8.1.1.5 写真-8.1.1.6
S 講義棟	⑩	80.24	写真-8.1.1.7 写真-8.1.1.8
M 講義棟	⑪	80.24	写真-8.1.1.9 写真-8.1.1.10
人間発達文化学類棟	⑬	56.64	写真-8.1.1.11 写真-8.1.1.12
教育研究センター	⑯	51.92	写真-8.1.1.13
陸上競技場（東側法面）	⑳	259.60	写真-8.1.1.14
合計	—	634.84	—



図-8.1.1.1 キャンパスマップ



写真-8.1.1.1 事務棟の屋上 (1)



写真-8.1.1.2 事務棟の屋上 (2)



写真-8.1.1.3 経済経営学類棟の屋上 (1)



写真-8.1.1.4 経済経営学類棟の屋上 (2)



写真-8.1.1.5 行政政策学類棟の屋上 (1)



写真-8.1.1.6 行政政策学類棟の屋上 (2)



写真-8.1.1.7 S 講義棟の屋上 (1)



写真-8.1.1.8 S 講義棟の屋上 (2)

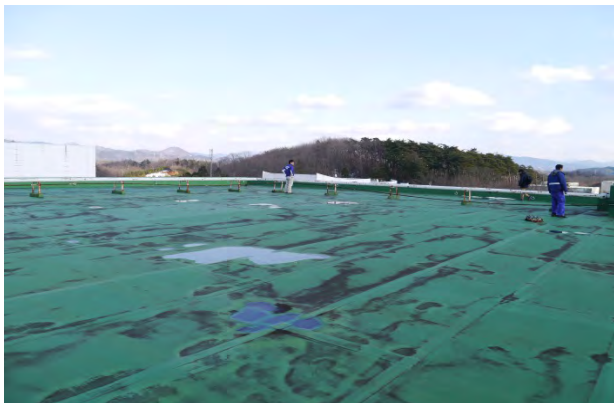


写真-8.1.1.9 M 講義棟の屋上 (1)



写真-8.1.1.10 M 講義棟の屋上 (2)



写真-8.1.1.11 人間発達文化学類棟の屋上(1)



写真-8.1.1.12 人間発達文化学類棟の屋上(2)



写真-8.1.1.13 教育研究センターの屋上



写真-8.1.1.14 陸上競技場 東側法面

8.1.1.2 太陽光発電システムの設計の考え方について

福島大学における太陽光発電システム設計の基本的な考え方について以下に示す。

太陽電池モジュールは、傾斜角 30°、真南方向で最大発電電力量を得ることができる。福島大学の場合、各棟は南西方向にて建設されているため、設備稼働率を重視の場合、真南方向でパネル設置をすることとなり、太陽電池モジュールの設置枚数が少なくなる。(図-8.1.1.2 参照)

表-8.1.1.2 に傾斜角・方位角と発電電力量の関係性について示す。真南と南西方位角の差異による発電電力量の差は約 5%程度であることから、太陽電池モジュールの配置は、基本南西方向とする。

傾斜角度については、30°Cで最大発電量となるが、最近では傾斜角を低く設計するケースが多い。その理由は、傾斜角が高いと太陽電池アレイ間の影の影響を考慮し、距離を確保するためモジュール設置枚数が少なくなる。更に耐風荷重を考慮するため架台の強度が必要となり設置コストが高価となるためである。以上より、今回は発電電力ポテンシャル量を重視し、傾斜角 15° で設計する。同角度による 30° との発電電力量の差は約 5%となる。

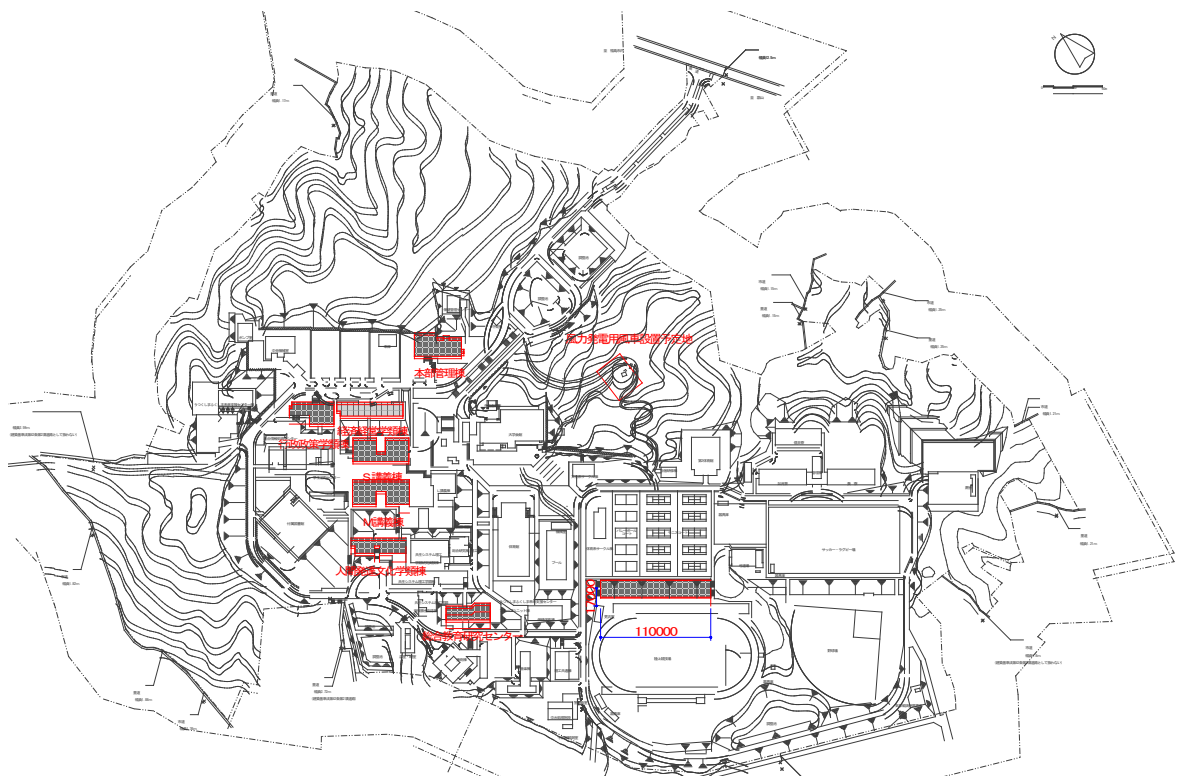


図-8.1.1.2 福島大学外構図面

表-8.1.1.2 傾斜角・方位角と発電量について

		方位角						
		0° (真南)	15°	30°	45° (南東or南西)	60°	75°	90° (真東or真西)
傾斜角	0° (水平)	89.3%						
	10°	94.9%	94.7%	94.1%	93.0%	91.7%	90.1%	88.5%
	20°	98.4%	98.1%	97.1%	95.2%	92.5%	89.8%	86.6%
	30°	100%	99.5%	97.9%	95.2%	92.0%	88.0%	83.7%
	40°	99.5%	98.7%	96.8%	93.6%	89.8%	85.0%	79.7%
	50°	96.5%	96.0%	93.9%	90.4%	85.8%	80.7%	85.1%
	60°	91.7%	91.2%	88.8%	85.3%	81.0%	75.7%	69.8%
	70°	85.0%	94.5%	82.4%	79.1%	74.9%	69.8%	63.9%
	80°	76.7%	76.2%	74.3%	71.7%	67.9%	63.1%	58.0%
	90°	96.1%	66.8%	65.5%	63.5%	60.2%	56.4%	51.6%

(注)真南、傾斜角を30° を100%とした場合(東京)NEDO全国日射関連データマップより算出

8.1.1.3 太陽電池モジュールの種類

太陽光モジュールのセルの種類には、現在商品化されている中で主に単結晶系、多結晶系、化合物系の3種類ある。これら種類の代表的なメーカーを選定し比較した結果を表-8.1.1.3に示す。


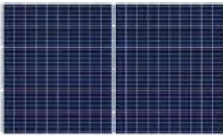

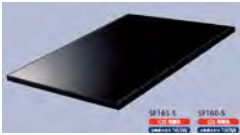
単結晶系パネルは、最もモジュール変換効率が高く、他パネルと比較し同じ敷地面積で発電容量を多く設置することが可能となる。ただしモジュール価格は比較的高価となり、中小規模発電かつ設置場所が狭い条件に適している。

多結晶系パネルは、モジュール変換効率が比較的高く、モジュール単価も安価となり、大中規模発電用として適している。最近では単結晶に近い効率の製品も開発され、コストパフォーマンスに優れている。

化合物系パネルは、モジュール変換効率は低いが、結晶系パネルと比較して影の発電出力への影響が少ない特徴があるため、積雪による発電電力量への影響を最小限にすることが期待できる。設置面積に余裕があり、年間発電電力量を確保したいニーズに適している。

今回は、モジュール変換効率も高く比較的安価な多結晶型モジュールをベースに設計する。

表-8.1.1.3 太陽電池モジュール比較

メーカー	パナソニック	カナディアンソーラー	京セラ	ソーラーフロンティア
セルの種類	単結晶系ハイブリット型	多結晶型	多結晶型	CIS化合物型
外観				
型式	VBHN240SJ51	CS3K-295P	KK275P-3CD3CG	SF170-S
外形寸法	W1580×D812×H35	W1675×D992×H40	W1662×D990×H46	W1257×D977×H35
質量	14.0kg	18.5kg	19.0kg	20.0kg
耐荷重	2400Pa	5400Pa		2400Pa
公称最大出力	240W	295W	275W	170W
モジュール変換効率	18.7%	18.1%	16.7%	13.8%
公称最大出力動作電圧	43.0V	32.5V	31.3V	87.5V
公称最大出力動作電流	5.59A	9.08A	8.79A	1.95A
公称開放電圧	52.7V	39.1V	38.6V	112V
公称短絡電流	6.00A	9.57A	9.48A	2.20A

8.1.1.4 事務局棟における太陽電池アレイ配置

事務局棟における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.4に示す。一部空調機器が設置されている場所を考慮した結果、太陽電池モジュール295W×128枚（8直列×16並列）設置が可能となり、太陽電池容量は合計37.76kWとなる。

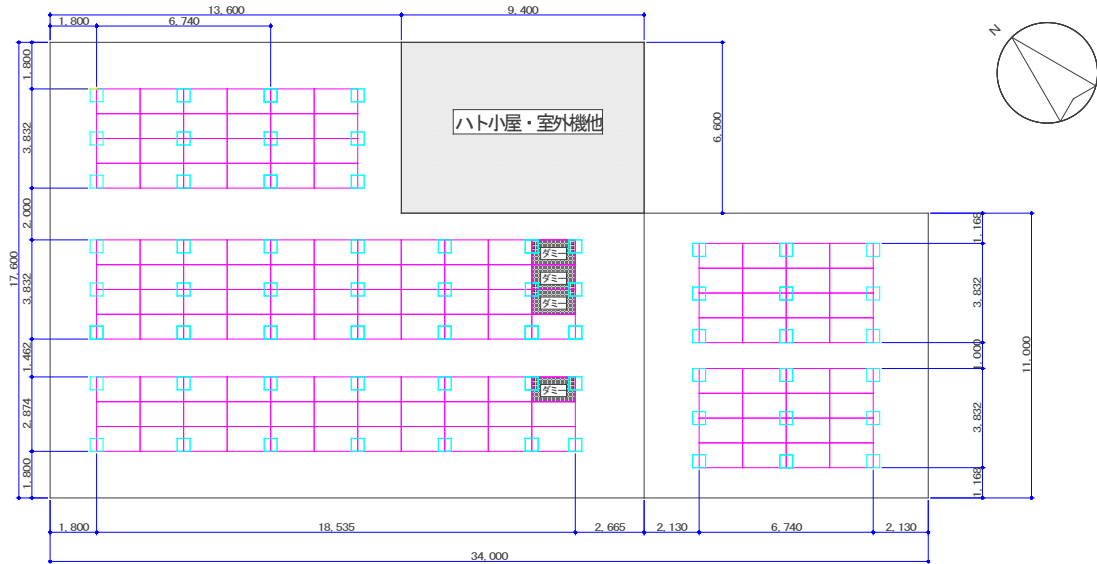


図-8.1.1.4 事務局棟 太陽電池アレイ配置図

8.1.1.5 経済経営学棟における太陽電池アレイ配置

経済経営学棟における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.5に示す。ELV機械室とEHP室外機スペース及び影の影響を考慮した結果、太陽電池モジュール295W×72枚（8直列×9並列）設置が可能となり、太陽電池容量は合計21.24kWとなる。

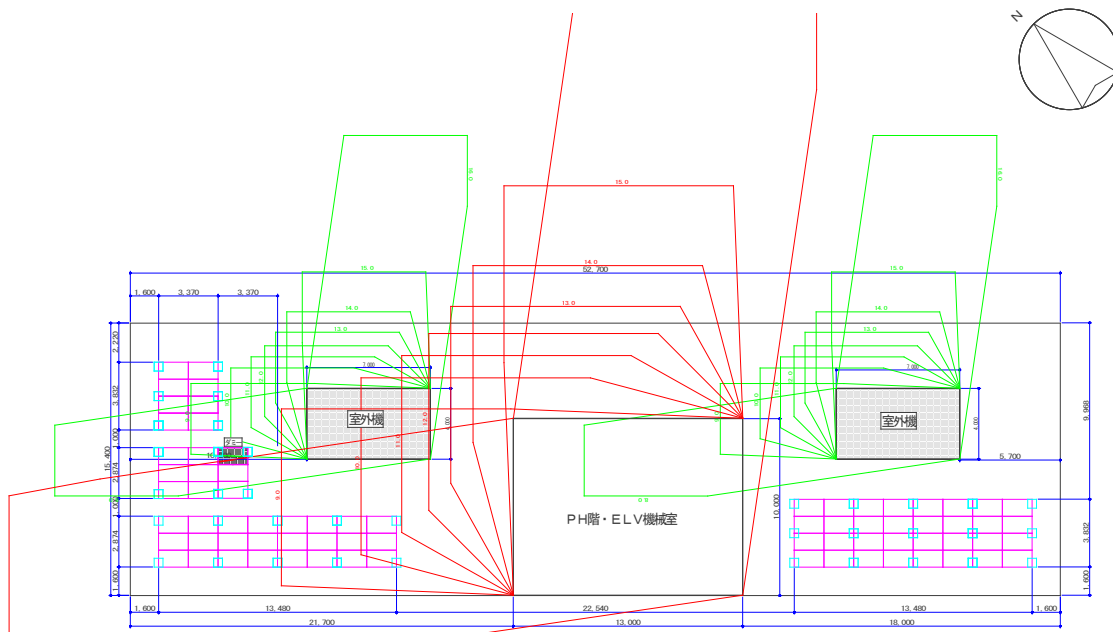


図-8.1.1.5 経済経営学棟 太陽電池アレイ配置図

8.1.1.6 行政政策学棟における太陽電池アレイ配置

行政政策学棟における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.6 に示す。経済経営学棟と同様に ELV 機械室のスペースおよび影の影響を考慮した結果、太陽電池モジュール 295W×160 枚 (8 直列×20 並列) 設置が可能となり、太陽電池容量は合計 47.2kW となる。

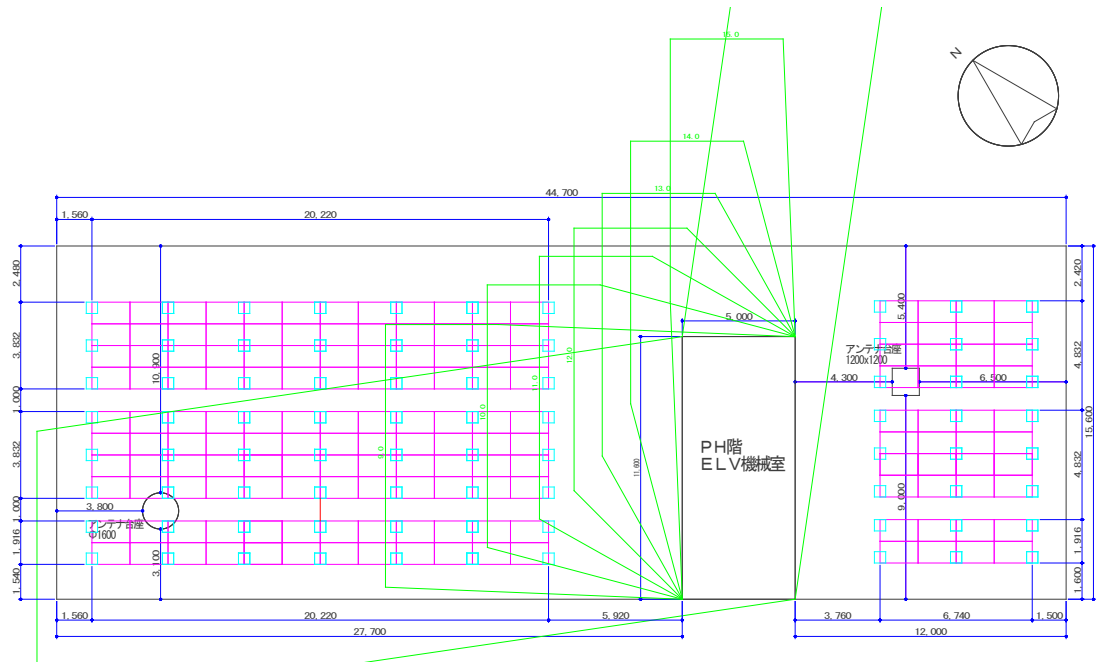


図-8.1.1.6 行政政策学棟 太陽電池アレイ配置図

8.1.1.7 S講義棟における太陽電池アレイ配置

S講義棟における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.7 に示す。一部機器が設置されているものの影の影響は少なくスペースのみを考慮した結果、太陽電池モジュール 295W×272 枚 (8 直列×34 並列) 設置が可能となり、太陽電池容量は合計 80.24kW となる。

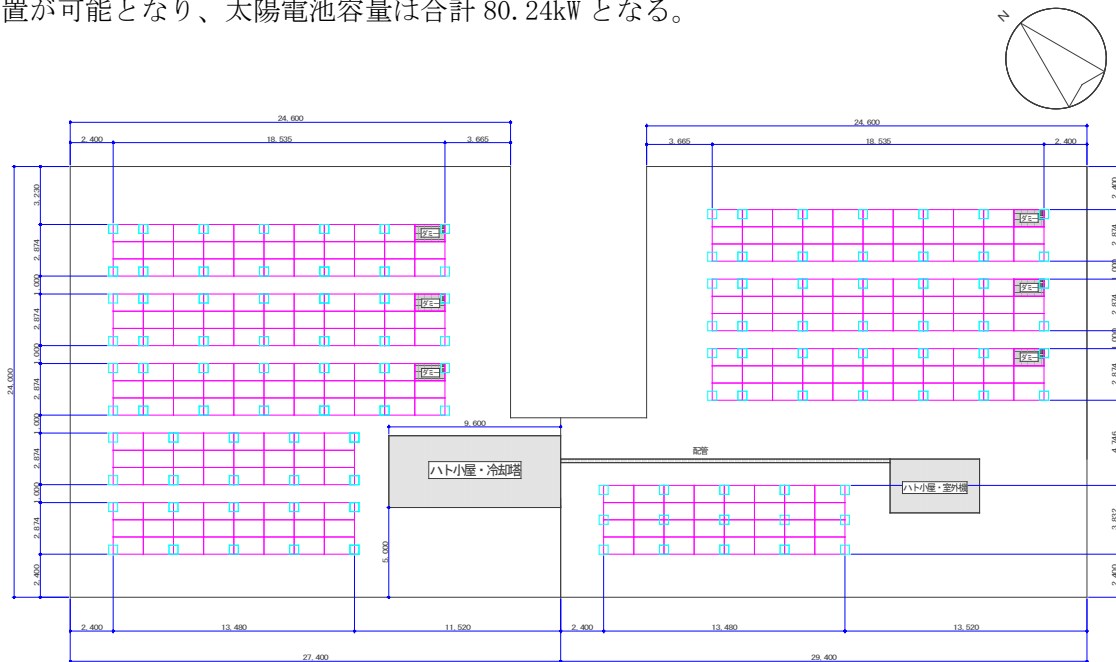


図-8.1.1.7 S講義棟 太陽電池アレイ配置図

8.1.1.8 M講義棟における太陽電池アレイ配置

M講義棟における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.8に示す。一部機器が設置されているものの影の影響は少なくスペースのみを考慮した結果、太陽電池モジュール295W×272枚（8直列×34並列）設置が可能となり、太陽電池容量は合計80.24kWとなる。

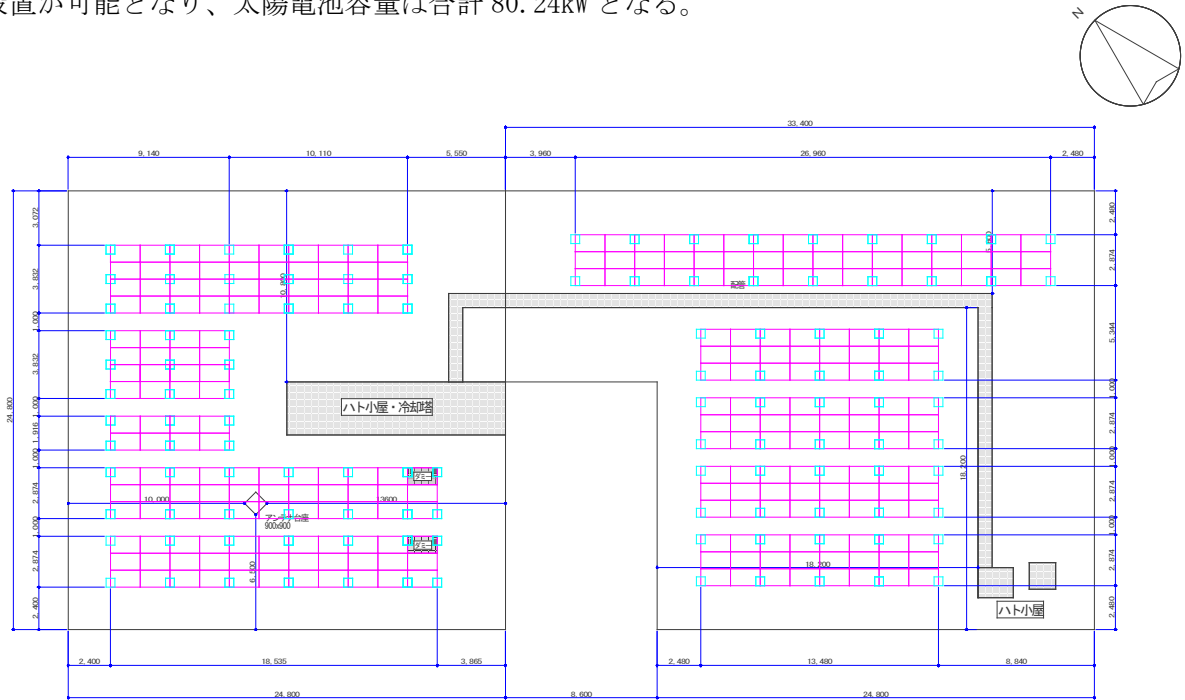


図-8.1.1.8 M講義棟 太陽電池アレイ配置図

8.1.1.9 人間発達文化学類棟における太陽電池アレイ配置

人間発達文化学類棟における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.9に示す。ELV 機械室等のスペースを考慮した結果、太陽電池モジュール295W×192枚（8直列×34並列）設置が可能となり、太陽電池容量は合計56.64kWとなる。ただし、ELV 機械室北西側の太陽電池モジュールの一部は午前中影の影響を受ける部分があり、詳細計画時に採用の有無を判断する必要がある。

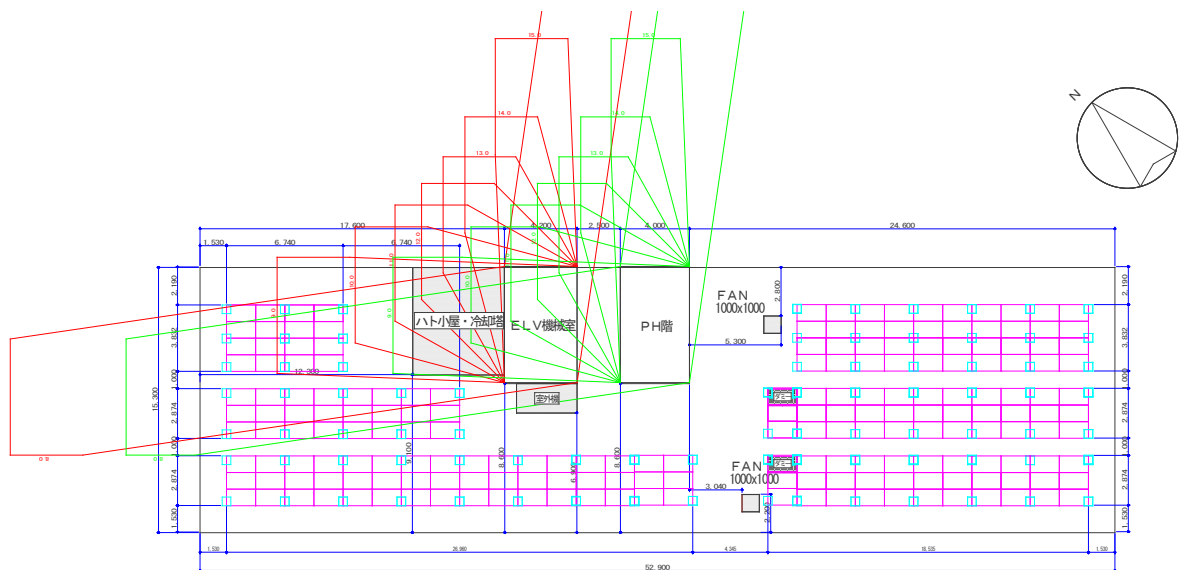


図-8.1.1.9 人間発達文化学類棟 太陽電池アレイ配置図

8.1.1.10 教育研究センター棟における太陽電池アレイ配置

教育研究センター棟における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.10 に示す。ハト小屋のスペースを考慮した結果、太陽電池モジュール 295W×176 枚（8 直列×22 並列）設置が可能となり、太陽電池容量は合計 51.924kW となる。

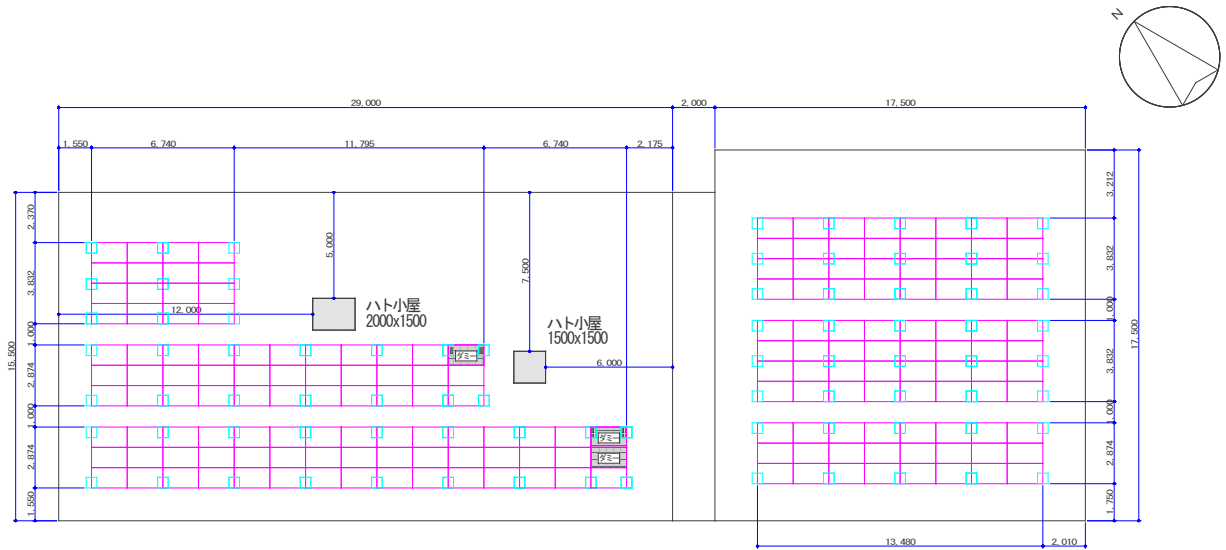


図-8.1.1.10 教育研究センター棟 太陽電池アレイ配置図

8.1.1.11 陸上競技場（南西側法面）における太陽電池アレイ配置

陸上競技場（東側法面）における太陽電池アレイ配置検討した結果を図-8.1.1.11 に示す。法面に最大限設置可能な枚数を検討した結果、太陽電池モジュール 295W×880 枚（11 直列×80 並列）設置が可能となり、太陽電池容量は合計 259.6kW となった。

法面へ太陽光発電を設置することに関して、法面の地質を踏まえた架台基礎を設計する必要がある。一般的に法面はその上に重量物を設置するような計画で設計されていないケースが多く、太陽光アレイ周囲に雨や雪が集中すると地質が変化し、それにより崩壊する可能性が懸念される。同場所を採用するには十分な調査を踏まえた判断が肝要である。

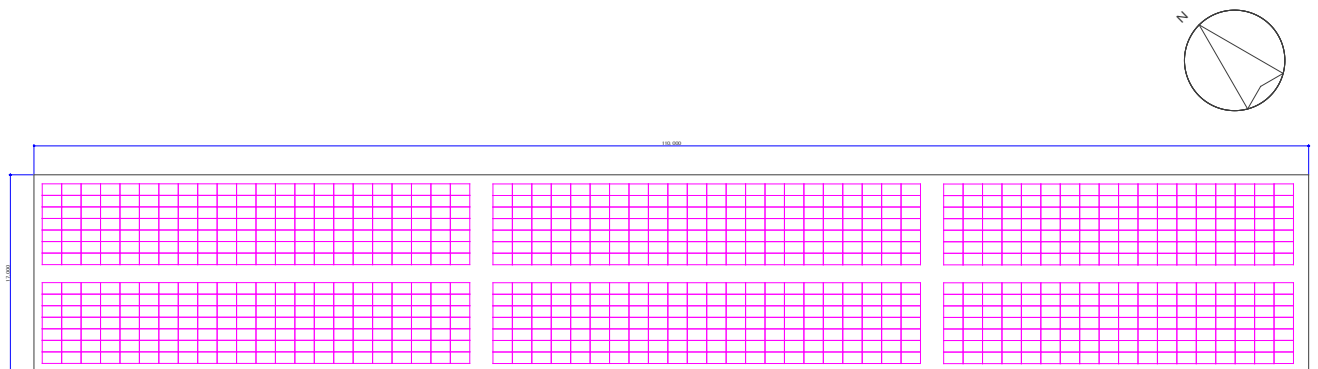


図-8.1.1.11 陸上競技場（東側法面） 太陽電池アレイ配置図

8.1.2 先進的太陽光発電モジュール

建物の屋根や法面等の空きスペースに太陽光発電を設置することは既に一般的に行われているが、近年国内外で推進されている ZEB (Net Zero-Energy Building) の普及に向けて、主要な創エネ設備である太陽電池パネルを壁や窓に設置する動きが活発化しつつある。この壁面や窓に応用する建材一体型モジュールについては、発電能力も重要であるものの、それ以上に居住快適性やデザイン性も重要視されているため、コストにまだ課題は残るものの、以下図-8.1.2.1 に例示されるように、黒のみではなくグレーや白色から赤、青、緑等といった様々な色の壁面用パネルやシースルーといった窓用太陽電池パネルが開発されている¹⁾³⁾。なお、発電効率は仕様にもよるが、一般の太陽電池パネルが 17%程度 (定格出力約 170W/m²) であるのに対し、色を施した壁面用で 10~15%程度、窓用で 8%程度となる。窓用については、遮熱や断熱性能も高めるべく low-E ガラスやペアガラスといった複合化も施されている。

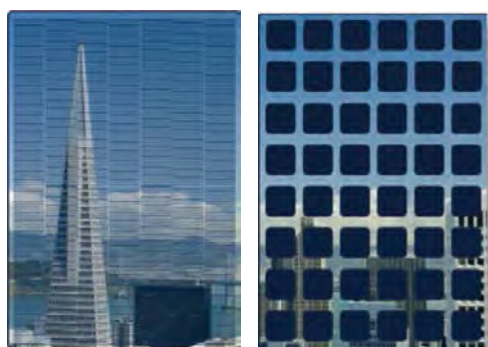
なお、壁面や窓応用では、太陽電池パネルの設置角度が垂直に近くなる。参考のため、福島大において、南向き垂直設置の太陽電池パネルの受ける快晴時の日射量が、一般的な設置条件 (設置角度 20°とした) に比較してどの様に変化するかをシミュレーションした結果を図-8.1.2.2 に示す。本シミュレーションにおいては、1 年を通して快晴日とした場合の日毎積算日射量を横軸に示し、Erbs 近似⁴⁾による直達日射量と拡散日射量の分離に対し筆者が気象庁のデータを基に補正したものを用いている。また、垂直設置の場合、アルベドの影響が大きくなるが、本シミュレーションにおいては年間を通して 0.2 一定とした。さらに実測値として、NEDO 日射量データベース閲覧システム⁵⁾の MONSOLA-11 を用い、1990~2009 年までの福島市における月次平均の日毎積算日射量も併せて同図に示した。



白色モジュール¹⁾



緑色セル²⁾



シースルーモジュール²⁾

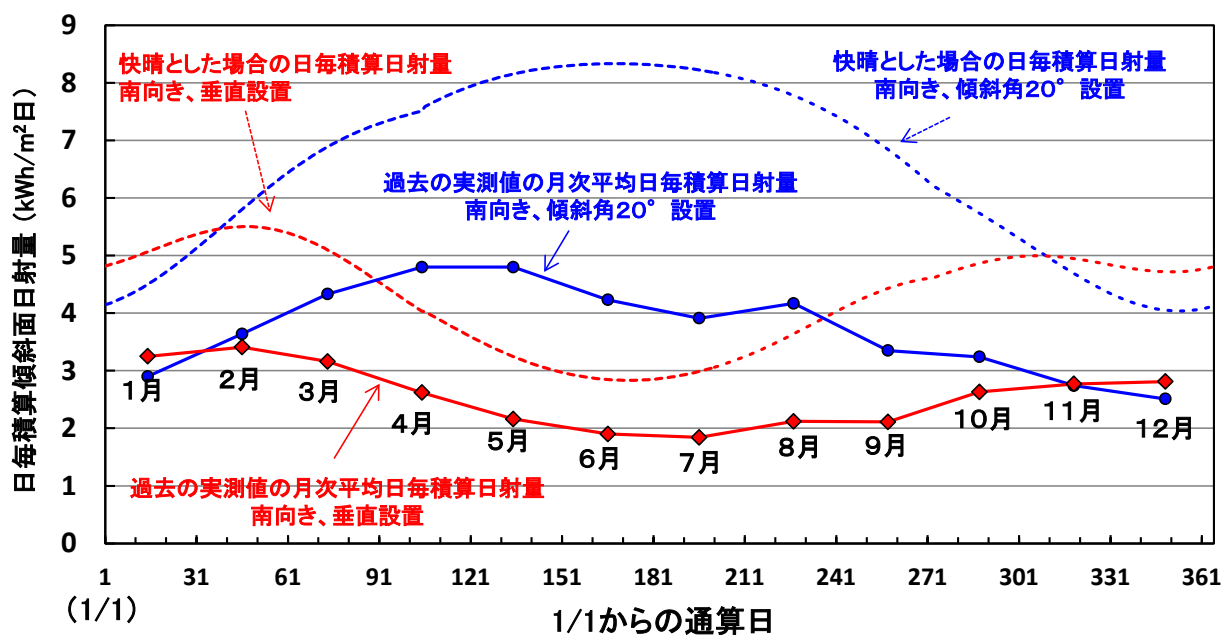
セルをそのままを利用した右側より、すだれ形状にした左側の方が外の見晴らしが良い



シースルーモジュール³⁾

薄膜シリコン太陽電池をベースに作製されている

図-8.1.2.1 建材一体型太陽光発電モジュール



垂直設置の場合、一般的な 20°程度の傾斜面設置と比べて、日射量が夏場に極小を迎える。また、年間の総日射量は 20°の傾斜面設置と比べて7割弱となる。

図-8.1.2.1 快晴とした場合の日毎積算傾斜面日射量（日射ポテンシャル）および過去 20 年間の月次平均日毎積算日射量の、南向きにおける 設置角度 20°と地面に垂直設置の場合の比較

引用・参考文献

- 1) <http://www.solaxess.ch/>
- 2) <https://www.agc-gk.com/bldg/products/sunjoule/>
- 3) <http://www.kst.kaneka.co.jp/modules/official/index.php/corporation/top.html>
- 4) D. G. Erbs, S. A. Klein, and J. A. Duffie: ESTIMATION OF THE DIFFUSE RADIATION FRACTION FOR HOURLY, DAILY AND MONTHLY-AVERAGE GLOBAL RADIATION, Solar Energy Vol.28, No.4 (1982) pp.293~302
- 5) <http://app0.infoc.nedo.go.jp/index.html>

8.2 風力発電

8.2.1 風力発電設置場所

株式会社ユアテックの協力を得て調査した。風力発電の設置にあたっては、風況調査が必要であるが、キャンパス内の地形から推測して、**図-8.2.1**と**図-8.2.2**に青枠で示した福島大学生生活協同組合食堂のある大学会館東側の信陵公園東側周辺の山頂付近が風況も良く（推定風速4～6m/s）適当である。道路からのアクセスも良く、景観を損ねることもなく、周辺には人家がなく風切り音の騒音・振動被害もない等の疎外要因も少なそうで、キャンパス内では最適な設置場所と思われる。

また、大学会館の東側に動力用電源のある電気室があることから、系統連携が比較的容易である。

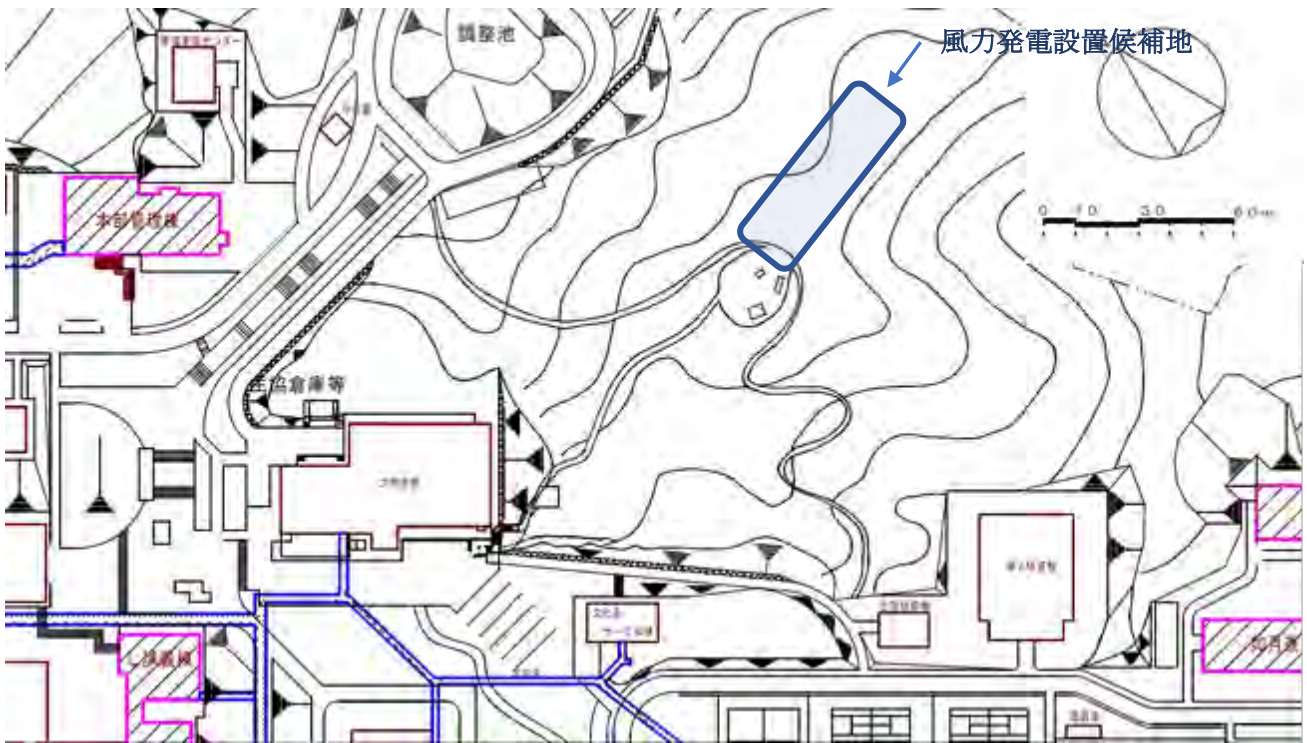


図-8.2.1 風力発電設置候補地（1）



図-8.2.2 風力発電設置候補地（2）

8.2.1 風力発電ポテンシャル

風力発電は、1基当たり20kW未満(写真-8.2.1)の小型風力発電を、3基設置する。C&F社製小型風力発電機CF20(19.5kW 系統連系タイプ 小型風力発電機)を3台設置し、学内エコ発電システムとして活用することが望ましい。



写真-8.2.1 20kW未満の小型風力発電(一般財団法人ふくしま未来研究会 ホームページより)

経済産業省 資源エネルギー庁は小型風力発電のFIT(55円/kWh)を2018年2月末で終了することとした。したがって、福島大学小型風力発電システムは逆潮流無しとし、FITとは関係なく、現在、C&Fが日本のFIT対応として出力制限しているが、この制御を外し、本来の性能(最大50kW)を発揮する風力発電装置として活用することが望ましい(福島大学の設置時期は2019年度～2020年度と想定)。

【参考データ(C&F 20kW風車)】

C&F Green Energyの風力発電装置は、大型風車並みの高機能を備えている。例えば、ピッチコントロール、ディスクブレーキ、アクティブヨー機構、ヨーブレーキ、油圧式ローターブレーキ、ワイヤレス通信を活用したモニタリング等、安全な稼働、非常時のブレーキングにも対応できるシステムとなっている。

外観を写真-8.2.2、パワーカーブを図-8.2.1、風速-発電電力の参考グラフを図-8.2.2、参考に構成例を図-8.2.3に示す。

主な特徴は、次の通りである。

- ・風車概要：CF20は、可変ブレードピッチ、及び、アクティブヨーを有する水平軸型風力タービン
- ・発電機：多極永久磁石同期発電機 AC3相ラジアルギャップ型発電機
- ・アクティブ・ブレード・ピッチ：ブレードはアクティブ・ピッチを利用して、自動制御される。
- ・ヨー駆動装置、ヒーター付風向風速計：付属の風向風速のデータをタービン制御システムが常に監視しており、必要に応じて、ヨー駆動装置を作動し、タービンを風の方向へ合せ、発電性能を最適化する。
- ・機械式ブレーキ：フェイルセーフ油圧ローターブレーキシステムを採用

- ・ブレード：ポリウレタン発砲体コア上にガラス充填ビニルエステル樹脂を使用
- ・制御装置：インターネットを介し C&F 社のモニタリング・データセンターが 24 時間遠隔監視
- ・タワー：スチール管モノポールを採用し、可倒式構造であるため、設置・メンテナンス費を抑えられるだけでなく、台風などの風害対策も可能
- ・出力：19.5kW（CF20 は日本向け FIT 制度に適應するように出力制限をし、9m/s で定格出力に達する）

使用詳細は、次の通りである。

- ・ローター直径：13.1m
- ・受風面積：134.8 m²
- ・ブレード枚数：3
- ・ハブ高さ：20m
- ・最大出力：19.5kW
- ・定格風速：9m/s
- ・ウインドクラス：III（Vave = 7.5m/s）
- ・耐風速：59.5m/s
- ・カットイン風速：2.2m/s
- ・カットアウト風速：25m/s
- ・ロータースピードレンジ：0 - 85rpm（通常運転時）
- ・電力変換：ソリッド・ステート・インバータ
- ・インバータ：EL POWER 社



写真-8.2.2 C&F 20kW 風車の外観

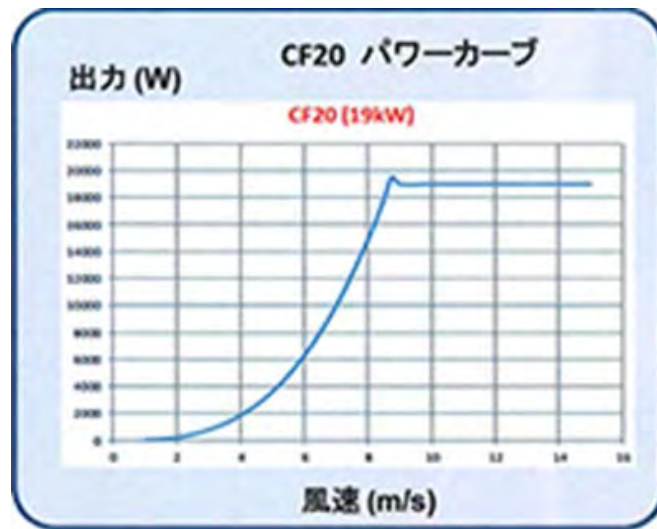


図-8.2.1 C&F 20kW 風車のパワーカーブ

CF20
(定格風速9m/s)

風速 (m/s)	発電電力 (kw)
0.0	0.0
1.0	0.0
2.0	0.0
3.0	0.7
4.0	1.7
5.0	3.3
6.0	5.8
7.0	9.7
8.0	13.7
9.0	19.5
10.0	19.5
11.0	19.5
12.0	19.5
13.0	19.5
14.0	19.5
15.0	19.5

通常 定格19.5kwの風車
(定格風速11m/s)

風速 (m/s)	発電電力 (kw)
0.0	0.0
1.0	0.0
2.0	0.0
3.0	0.4
4.0	0.9
5.0	1.8
6.0	3.2
7.0	5.0
8.0	7.5
9.0	10.7
10.0	14.7
11.0	19.5
12.0	19.5
13.0	19.5
14.0	19.5
15.0	19.5

風速 - 発電電力 参考グラフ

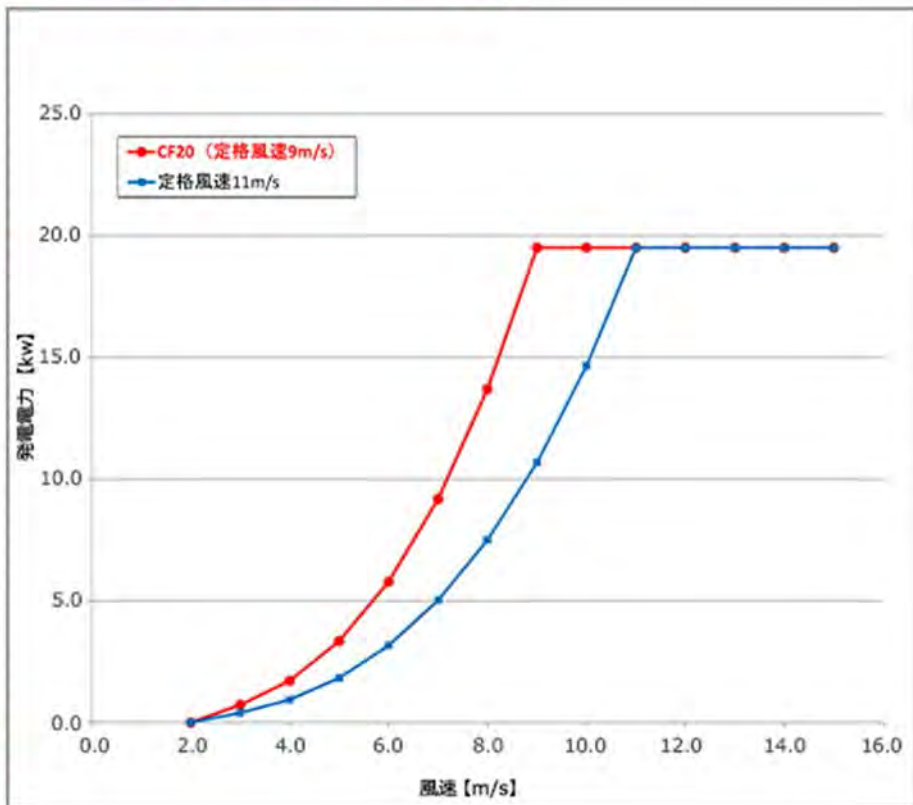


図-8.2.1 C&F 20kW 風車の風速-発電電力参考グラフ

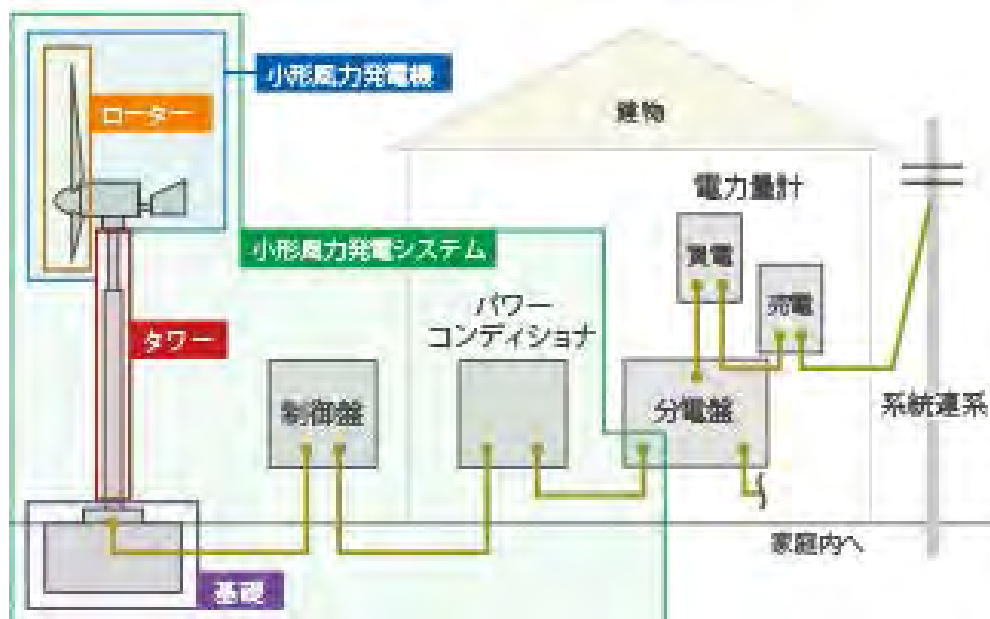


図-8.2.3 小型風力発電の構成例

8.3 系統連系システム

8.3.1 福島大学における再生可能エネルギー導入検討容量について

福島大学における太陽光発電および風力発電の導入ポテンシャル検討結果、発電容量として総計693.34kWの設備導入の可能性がある。(表-8.3.1.1参照) 発電電力効率よく活用するために、大学構内の電源系統へ系統連系による運用が必要となる。本項では、複数個所に設置された再生可能エネルギーの系統連系システムについて検討する。

表-8.3.1.1 建物別太陽光・風力発電容量およびPCS容量

建物名称	種別	発電容量	想定最大発電容量	PCS容量
事務局棟	太陽光	37.76kW	33.98kW	30.0kW
経済経営学類棟	太陽光	21.24kW	19.12kW	20.0kW
行政政策学類棟	太陽光	47.20kW	42.48kW	40.0kW
S講義棟	太陽光	80.24kW	72.22kW	80.0kW
M講義棟	太陽光	80.24kW	72.22kW	80.0kW
人間発達文化学類棟	太陽光	56.64kW	50.98kW	50.0kW
教育研究センター	太陽光	51.92kW	46.73kW	50.0kW
陸上競技場(東側法面)	太陽光	259.60kW	233.64kW	250.0kW
信陵公園東側	風力	58.50kW	58.5kW	58.5kW
合計		693.34kW	571.37kW	658.5kW

8.3.2 パワーコンディショナについて

パワーコンディショナとは、太陽光や風力により発電した電気を系統電源と連系するために必要な機器を(逆変換装置および系統連系保護リレー等)の機能を備えた機器である。

太陽光発電において、太陽電池モジュールとパワーコンディショナ(以下PCS)は、他メーカーでの組合せが可能であり、現在日本においても多数のメーカーで製造している。その主なメーカーおよびPCS仕様の比較表を表-8.3.2.1に示す。メーカーによって定格出力容量の種類、自立運転出力の有無等に特徴がある。福島大学においては建物毎で発電容量が異なるので、定格出力容量が多種類あるメーカーの選定が望ましい。また、PCS本体に自立運転機能を内蔵している機種を選定することで、停電時にPCS本体から直接発電電力を供給する仕組みを構築することも可能となる。

表-8.3.2.1 パワーコンディショナ(PCS)主なメーカー比較

メーカー	山洋電気㈱	㈱GSユアサ	デルタ電子	新電元工業	三菱電機㈱
外観					
定格出力容量	10、20、30、40、50、60、100kW	10、20、30、40、50、100kW	16.5、20、50kW	10、12.3、100kW	10kW
定格入力	DC400V	DC400V	DC635V	DC400V	DC400V
入力運転電圧範囲	DC150~570V	DC200~550V	DC520~800V	DC150~550V	DC180~600V
定格出力	3相3線 AC200V	3相3線 AC200V	3相3線 AC400V	3相3線 AC200V	3相3線 AC200V
寸法	10kW W600×D280×H600	10kW W600×D280×H600	16.5kW W600×D280×H600	10kW W600×D305×H650	10kW W700×D280×H500
重量	64kg	55kg	43kg	62kg	55kg
使用条件	-10℃~40℃ 最大湿度85%	-10℃~40℃ 湿度30~90%	-20℃~60℃ 湿度5~90%	-20℃~50℃ 湿度10~90%	-20℃~50℃ 湿度?%
その他機能	自立運転機能有り 系統連系保護装置内蔵	自立運転機能有り 系統連系保護装置内蔵	自立運転機能無し 系統連系保護装置内蔵	自立運転機能(オプション) 系統連系保護装置内蔵	自立運転機能有り 系統連系保護装置内蔵

風力発電システムのうち、小型風力発電においては風車メーカーにおいて風車の特性に合わせた PCS との組合せでシステム構築している場合が多い。8.2 風力発電において参考データとして提示した C&F Green Energy 社にて採用している PCS 仕様を表-8.3.2.2 に示す。

表-8.3.2.2 Elpower 社製 PCS 仕様

外観	
定格出力容量	19.5kW
定格出力電圧・周波数	3相3線 AC200V・50Hz
最大入力電圧	3相3線 480V
入力周波数	可変、最大 300Hz
寸法	W1, 700mm×D600mm×H600mm
重量	370kg
使用条件	-20℃～50℃
その他機能	系統連系保護装置内蔵

8.3.3 系統連系システムの構築について

系統連系システムを構築するに当たり、系統連系規程（JEAC9701-2016）に準じた設計を行う。福島大学は高圧配電線との連系要件を満たす必要がある。高圧の電力系統に分散型電源を連系する場合は、①分散型電源の異常又は故障、②連系している電力系統の短絡事故又は地絡事故、③分散型電源の単独事故における異常時に分散型電源を自動的に解列するための保護リレーを設置する。分散型電源の種類により系統連系に必要な保護リレーを表-8.3.3.1に示す。再生可能エネルギーの場合、基本的に逆変換装置を用いて連系する。

また逆潮流については、福島大学の契約電力が1,800kWに対し太陽光・風力発電の想定最大発電容量が571.37kWであり、休日の負荷が少なくなる時間帯において系統へ逆潮流する可能性がある。昨今の再生可能エネルギー拡大のための固定価格買取制度の導入により、電力系統へ大量の再生可能エネルギーが系統連系されたため、連系制約となるエリアが発生している状況もあり、今回は逆潮流無しの条件での系統連系システムを検討する。

表-8.3.3.1 高圧配電線との系統連系に必要な保護リレー

保護リレー等		逆変換装置を用いて連系する場合		逆変換装置を用いずに連系する場合	
検出する異常	種類	逆潮流有の場合	逆潮流無の場合	逆潮流有の場合	逆潮流無の場合
発電電圧異常上昇	OVR 過電圧	○	○	○	○
発電電圧異常低下	UVR 不足電圧	○	○	○	○
系統側短絡事故	UVR 不足電圧	○	○	○	○
	DSR 短絡方向			○	○
系統側地絡事故	OVGR 地絡過電圧	○	○	○	○
単独運転	OFR 周波数上昇	○		○	
	UFR 周波数低下	○	○	○	○
	RPR 逆電力		○		○
	転送遮断装置 又は単独運転 検出装置	○		○	

系統側で事故が発生した場合に、当該事故点を含む配電線は、配電線用遮断器の開放により、一旦無充電となるが、停電箇所を可能な限り極小化するために、一定時間後、当該配電線を自動再開路する必要がある。この時、万一発電設備等が何らかの原因で配電線から解列されていないと、再開路時の非同期投入事故などにより、発電設備等を含めた需要家機器に大きな被害を与える恐れがある。このような事故を防止するために線路無電圧確認装置を設置が必要となる。同装置の設置には費用負担が大きいいため、同装置を省略する方法として、逆潮流が無い場合は保護リレーを二系列化する必要がある。基本的に保護装置の二系列目は一系列目と同種のものを設置することが原則であるが、二系列目に不足電力リレー（UPR）を設置することで機能的二重化としてみなすことができる。以上を踏まえて、福島大学における系統連系保護装置構成例を図-8.3.3.1に示す。

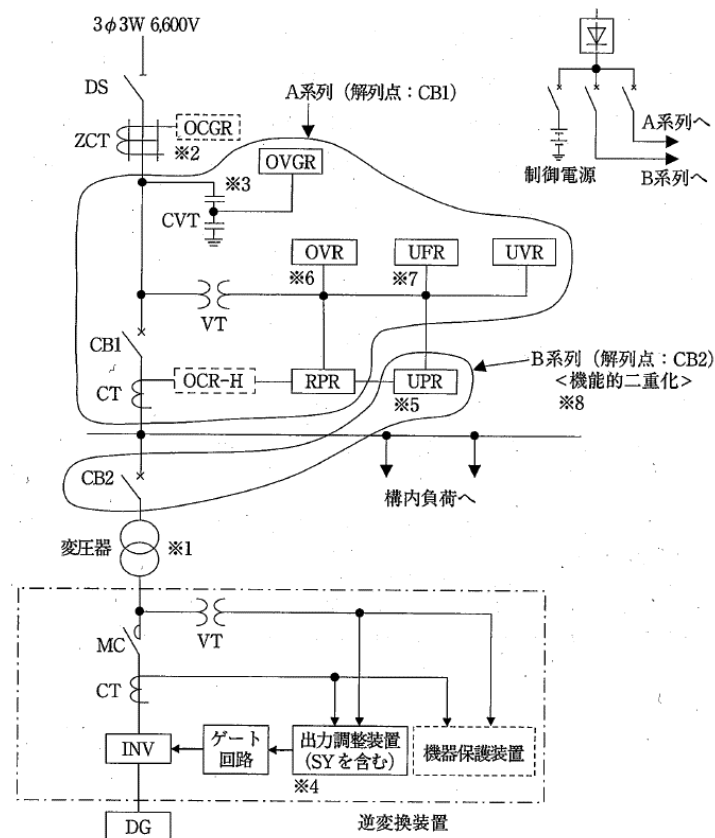


図-8.3.3.1 逆変換装置を用いた場合の保護装置構成例
(逆潮流無し、UPR を用いた機能的二重化)

一般的に再生可能エネルギーに採用される PCS 内に系統連系に必要な保護リレーを内蔵している場合が多い。今回のシステムは複数の PCS に対して系統連系保護を検討する必要があるため、受電点での異常を確実に検知するために、中央機械室内高圧受変電設備へ系統連系保護リレーを設置する。同保護リレーは表-8.3.3.1 の通り複数の機能が必要となるため、これらを統合した系統連系保護継電器（図-8.3.3.2 参照）を活用すると設置工事、管理、保守等が容易となる。



図-8.3.3.2 統合型系統連系保護継電器（三菱電機製）

以上の条件を踏まえ、福島大学における再生可能エネルギー系統連系システムの単線結線図を図-3.3.3.3 に示す。太陽光発電が小容量の場合には近傍の動力盤へ接続し導入コストを抑えられるが、ポテンシャル検討結果、動力盤の容量が小さい可能性を考慮し、各棟のサブ変電所内低圧動力盤へ直接接続するシステムとして検討した。



図-8.3.3.3 再生可能エネルギー発電システム単線結線図

8.4 蓄電システム

8.4.1 蓄電池について

現在主流の蓄電池として、①鉛蓄電池、②ニッケル水素電池、③リチウムイオン蓄電池、④NAS 電池が挙げられる。

鉛蓄電池は、二次電池の中で最も古い歴史を持ち、開発から現在まで様々な用途で利用されている。その用途は幅広く、自動車のバッテリーとして利用されているのを始め、非常用電源やバッテリー駆動の電動車用主電源としても用いられており、安価で使用実績が多く、信頼性に優れているという特長がある。

ニッケル水素電池は、高出力・高容量・長寿命の人工衛星用バッテリーとして開発が進められていたが、当時主流であったニカド電池が及ぼす環境への影響が問題視されるようになり、やがてニカド電池に変わる主流の乾電池型二次電池として普及した。エネルギー密度が高く、過充電・過放電に強いという特長から、乾電池二次電池やハイブリッドカーの動力源として用いられている。近年では、急速充放電が出来るという強みを活かし、鉄道システムやモノレールシステムの地上蓄電設備（BPS）としても多く採用されており、平常時のピークカットや停電時の非常走行などの運用方法が可能となっている。

リチウムイオン電池は、ニッケル水素電池と比較すると、エネルギー密度と充放電エネルギー効率が非常に高く、また残容量や充電状態が監視し易いといった特長があり、現在の蓄電池の中でも最も活発に普及や技術開発の取り組みが推進されている。幅広い電子・電気機器に搭載されており、技術開発が進んだ近年においては、電気自動車などの交通機関の動力源やスマートグリッドのための蓄電装置としても研究開発が推進されている。

NAS 電池は、リチウムイオン電池と同等のエネルギー密度を持ち、鉛蓄電池よりも kWh 単価が低価格かつ長寿命である。その特長から、主に大規模電力貯蔵施設や負荷平準化、工場といった施設のバックアップ用電源として用いられている。

表-8.4.1.1 蓄電池の特徴と代表的な用途

種類	特徴	用途
鉛電池	正極に二酸化鉛、負極に鉛、電解液に希硫酸を用いた電池。 低コストで安全性・信頼性に優れている。	自動車のバッテリー フォークリフト等電動車の主電源 バックアップ電源
ニッケル水素電池	正極にオキシ水酸化ニッケル、負極に水素吸蔵合金、電解液にアルカリ水溶液を用いた電池。 常温で作動し、急速充放電が可能。	充電式電池 ハイブリッドカー 鉄道システム用の地上蓄電設備
リチウムイオン電池	正極に硫黄、負極にナトリウム、電解質にβ-アルミナを用いた電池。 充放電ロスがなく、高出力。	モバイル機器のバッテリー 電気自動車への搭載 電力貯蔵などの用途
NAS 電池	正極に硫黄、負極にナトリウム、電解液に参加アルミを用いた電池。約 300 度の運転温度が必要。 長寿命・高密度・低価格。	大規模電力貯蔵 負荷平準化・系統安定化 バックアップ電源

福島大学における蓄電システムとしては、再生可能エネルギーの配置が分散されているため、大容量ではなく小中容量蓄電池を選定することが望ましい。また、設置スペースも限られていることから、エネルギー密度が高く充放電効率の高いリチウムイオン電池による蓄電システムの構築が望ましい。

8.4.2 系統連系における電池システムの機能について

蓄電池と再生可能エネルギーを組み合わせた蓄電池システムにおいて、系統連系運転により可能となる機能（運用モード）について以下に示す。再生可能エネルギーは太陽光発電と想定する。

基本的な運用として、日中は太陽光発電からの発電電力と商用電力を各設備へ供給する（図-8.4.2.1 参照）。

また、建物設備の受電電力を少しでも低減するために、太陽光発電と蓄電池に蓄積した電力をあわせて供給し、商用電源からの供給を抑える運用が可能となる（図-8.4.2.2 参照）。ただし、再生可能エネルギーによる発電電力は、気象条件に左右されるため安定電源ではないことから、契約電力の低減までは期待できない。

夜間などの受電電力の少ない時間帯においては、蓄電池放電量を自動的に充電する。（図-8.4.2.3 参照）。

最終的には、次項において自立電源システムとの機能を組み合わせた蓄電システムを選定する。

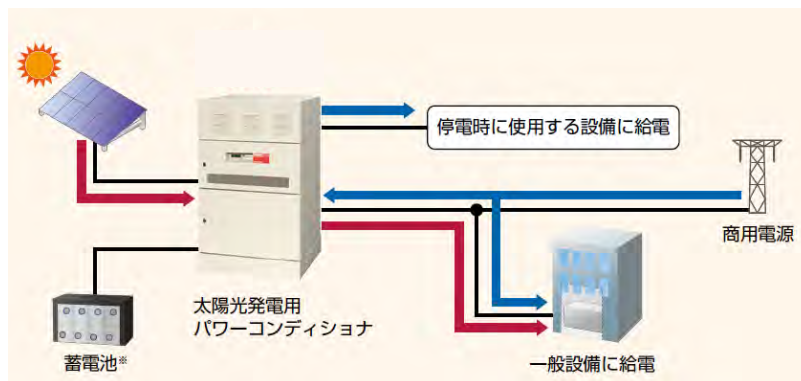


図-8.4.2.1 連系モード

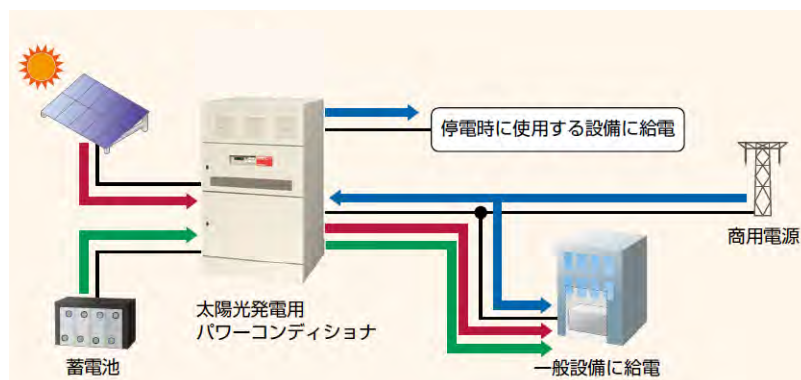


図-8.4.2.2 ピークカットモード

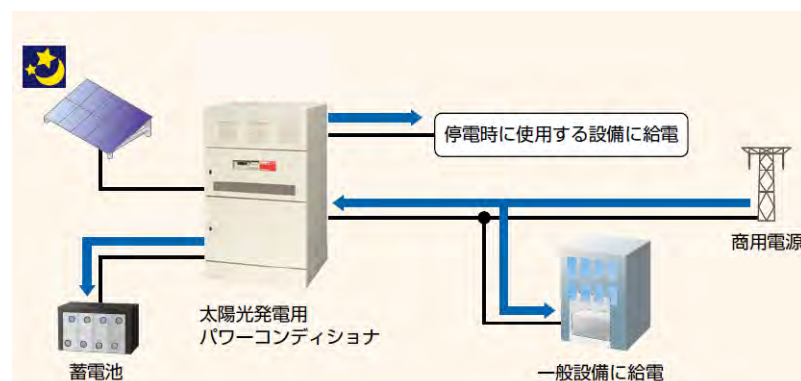


図-8.4.2.3 充電モード

8.5 大規模災害時・停電時の自立電源システム

災害時や停電時の自立電源システムとして、再生可能エネルギー＋蓄電池と発電機による電源システム構成が考えられる。ここでは、再生可能エネルギーを活用したシステム構築を主体として、蓄電池との組み合わせによる自立電源システムについて検討する。

8.5.1 自立電源システムに求められる機能

自立電源システムとして、電力系統が停電した場合には自動で再生可能エネルギーおよび蓄電池から重要負荷へ電源供給可能なシステムが求められる。

具体的には、まずは電力系統が停電した際に、自動で電力系統より切り離し自立運転モードに移行する。その後、太陽電池の発電より特定負荷の使用電力が多い場合、太陽電池の発電と蓄電池の放電により特定負荷へ電力を供給する。太陽電池の発電より特定負荷の使用電力が少ない場合、太陽電池の発電により特定負荷へ電力を供給しながら蓄電池を充電する。夜間においては、蓄電池の放電により特定負荷へ電力を供給する。(図-8.5.1.1、図-8.5.1.2 参照)

Ⅰ 自立運転/停電時(太陽光発電<重要負荷)

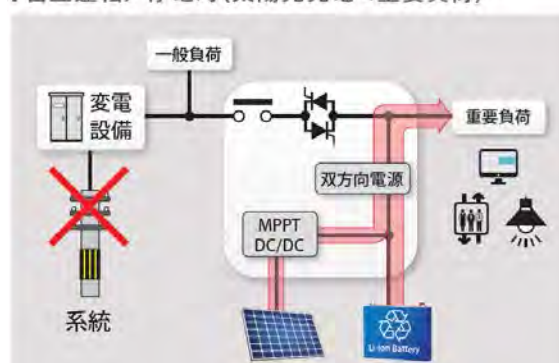


図-8.5.1.1 停電・災害時の電力供給イメージ (太陽光発電<重要負荷)

Ⅱ 自立運転/停電時(太陽光発電>重要負荷)

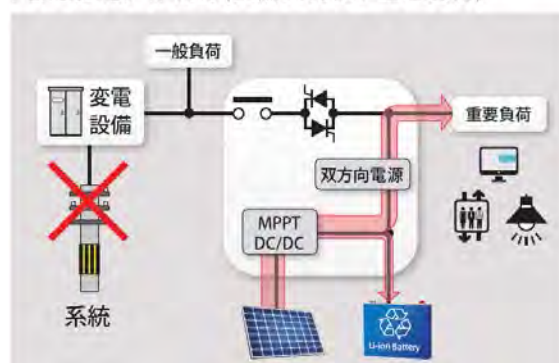


図-8.5.1.2 停電・災害時の電力供給イメージ (太陽光発電>重要負荷)

8.5.2 自立電源システムについて

系統連系時および停電時に必要な機能を有した小中容量のリチウムイオン蓄電池システムを表-8.5.2.1 に示す。環境省によるグリーンニューディール政策により、各自治体の小中学校を中心に、太陽光発電＋蓄電池システムの導入が進み、太陽光発電 20kW、蓄電池容量 15kWh 以上のシステムが主流となった。その後、PCS 容量や蓄電池容量の選定が可能になるなど、適用範囲が拡大してきている。

表-8.5.2.1 小容量蓄電池システム比較表

メーカー	パナソニック(株)	東芝ITコントロールシステム(株)	(株)GSユアサ	(株)YAMABISHI
電池種別	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池	リチウムイオン電池
外観				
蓄電容量	15kWh、20kWh	22～176kWh	16.9～50.7kWh	12.4～29.7kWh
PCS出力	10、20kW	10、25kW	10～50kW	10～200kW
入力	AC三相200V	AC三相200V	AC三相200V	AC三相200V
出力	AC三相200V	AC三相200V	AC三相200V	AC三相200V
寸法	W1000×D940×H1850 (PCS20kW+蓄電池20kWh)	W2600×D600×H1900 (PCS20kW+蓄電池22Wh)	W1600×D800×H1900 (PCS20kW+蓄電池50.7Wh)	W1000×D750×H1800 (PCS20kW+蓄電池24.8Wh)
重量	750kg	1700kg	1500kg	920kg
使用条件	-10℃～40℃ 最大湿度85%	-10℃～40℃ 湿度15%～85%	-10℃～40℃ 湿度30～90%	-10℃～40℃ 湿度15%～85%
その他機能	ピークシフト対応 停電時供給対応	ピークシフト対応 停電時供給対応	ピークシフト対応 停電時供給対応	ピークシフト対応 停電時供給対応

福島大学における自立電源システムの設置場所について検討する。
 災害発生時の避難場所は大学中心部にある体育館である。その近傍で今回のポテンシャル診断より太陽光発電システム導入可能な施設は教育研究センターとなり、自立電源システムは同施設へ導入することが望ましい。(図-8.5.2.1 参照)

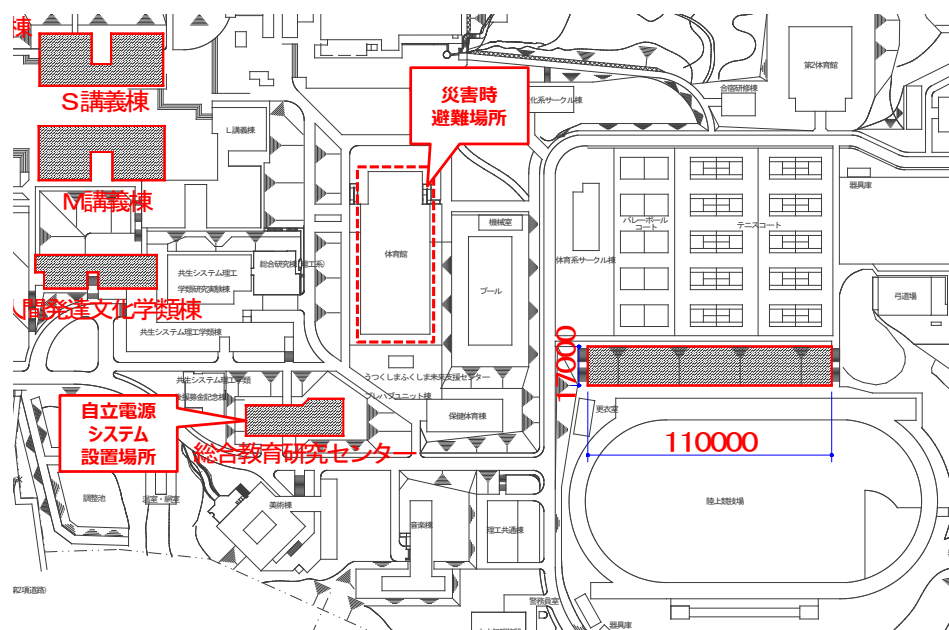


図-8.5.2.1 自立電源システム設置場所

災害発生時に使用する機器およびその消費電力量の試算例を表-8.5.2.2に示す。基本的には外部からの情報収集および連絡のための防災無線とテレビは、24時間電源が必要となる。その他機器は、避難状況に応じて使用時間は異なっていく。各負荷の使用時間を想定し試算した結果、1日当たりの消費電力量は22.1kWhとなる。教育研究センターに設置可能な太陽電池モジュール容量は51.92kWであり、傾斜角・方位より想定される最大発電電力は46.73kW。太陽光発電システムの稼働率は全国平均で約12%程度であることから、1日当たりの平均発電期待電力量は134.6kWhとなる。災害時使用機器に対して十分な発電電力量を期待でき、蓄電池容量を22.1kWh以上選定することで災害時に十分対応可能な自立電源システムの構築が可能となる。

表-8.5.2.2 災害時使用機器の消費電力量例

項目	負荷内容	平均消費電力 (W)	台数	使用時間 (h)	消費電力量 (kWh)
防災無線	無線機器	142	1	24	3.4
業務・事務	パソコン	50	2	12	1.2
テレビ	液晶テレビ	100	2	24	4.8
携帯電話	充電	5	200	2	2.0
空調	扇風機 (夏)	42	6	24	6.0
照明	高天井 LED 照明	129	6	6	4.6
1日当たり消費電力量合計 (kWh)					22.1

前述の検討結果を基に構築した自立電源システムを図-8.5.2.2に示す。今回は双方PCS容量が50kW、蓄電池容量が広範囲で選定が可能な、(株)YAMABISHI製を選定し検討した。

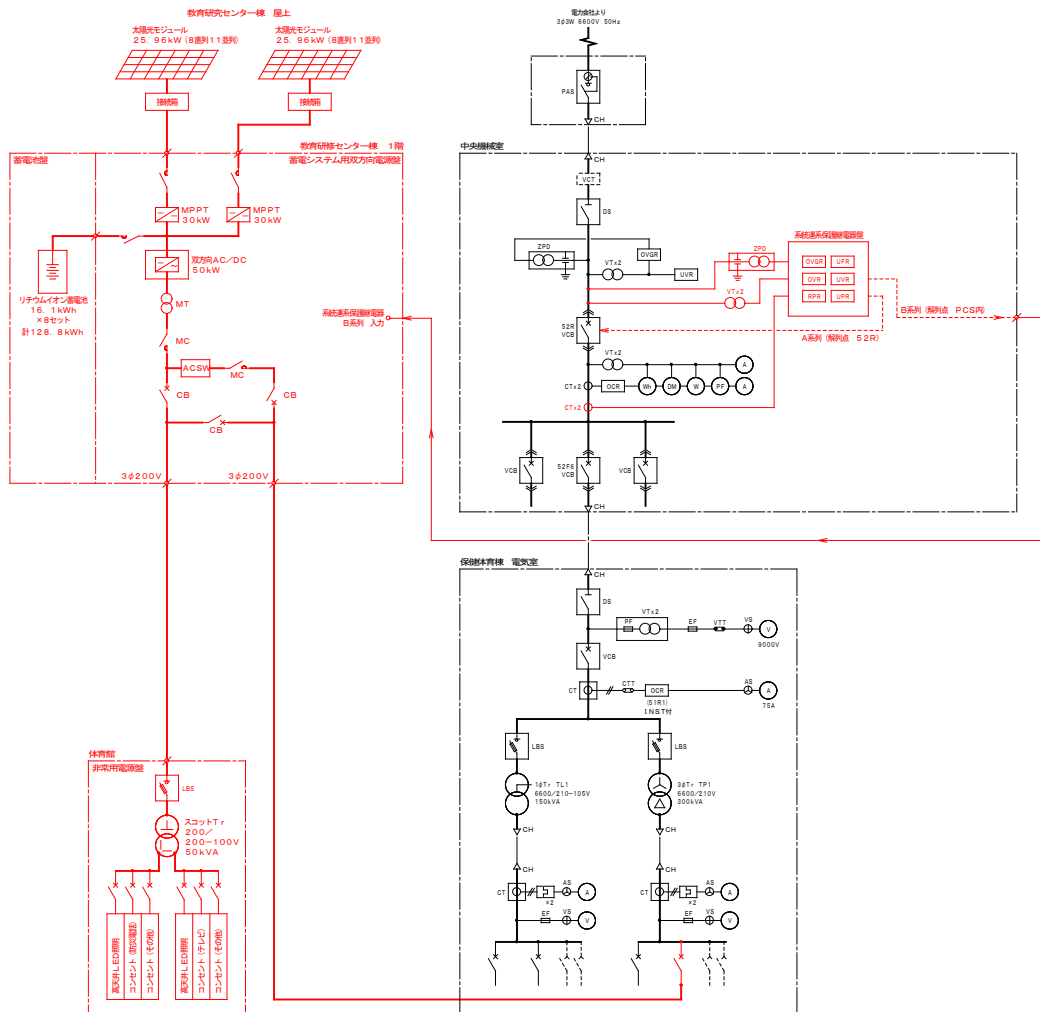


図-8.5.2.2 自立電源システム構成例 (PV : 51.92kW+PCS50kW+蓄電池 : 128.8kWh)