

※講演に参加出来なかった方達の理解が得られるよう注記を追加しました 2月20日

ソーラーシェアリングの 明日を語る

CHO技術研究所
長島 彬



セレクション「黒部ダム スペシャル」

初回放送日: 2024年1月11日

これまでのプラタモリからえりすぐりの回を放送！今回は「黒部ダム スペシャル」(2020年5月30日放送)をお送りします[1月13日は「絶景！黒部峡谷」です。]

NHK放送案内

黒部第4発電所

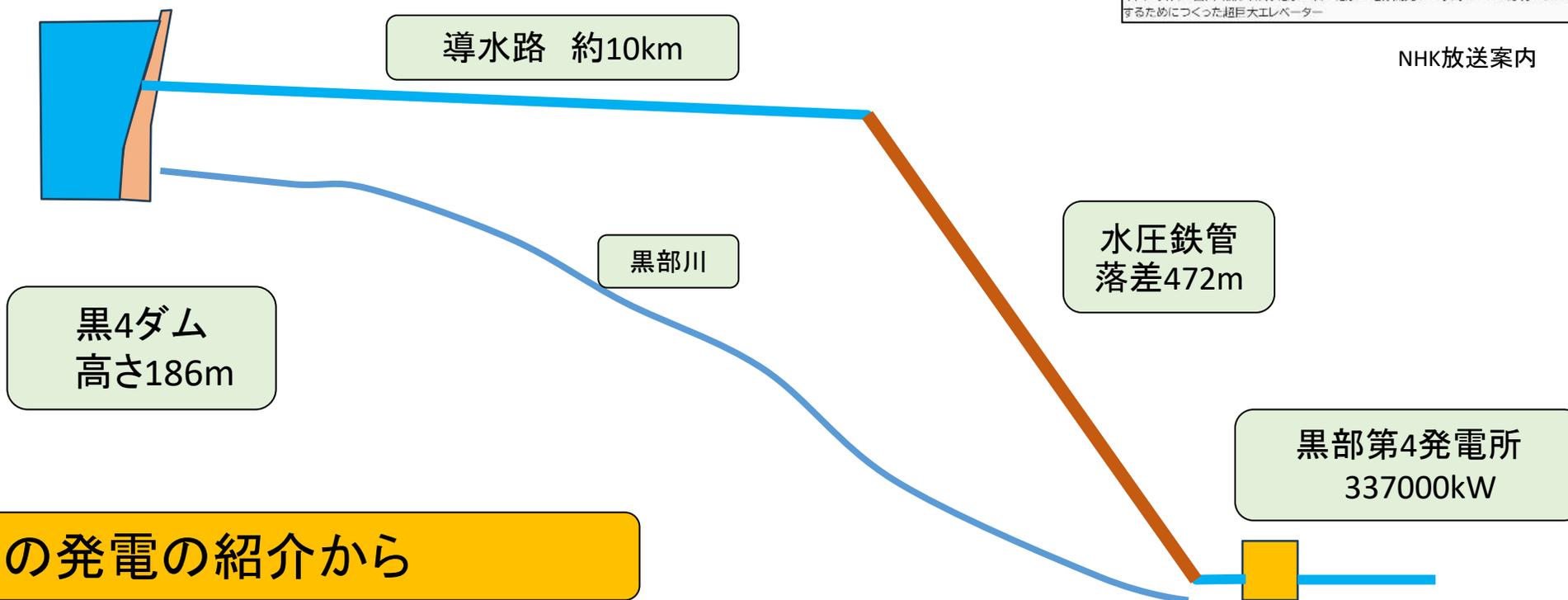


「秘境！黒部峡谷～黒部の絶景は電源開発の軌跡にあり？～」

初回放送日: 2024年1月20日

今回の舞台は高山・黒部峡谷。絶景に次ぐ絶景！電源開発の工事用ルートで秘境をゆく▽新宿の高層ビルに匹敵？黒部川の高低差を克服するためにつくった超巨大エレベーター

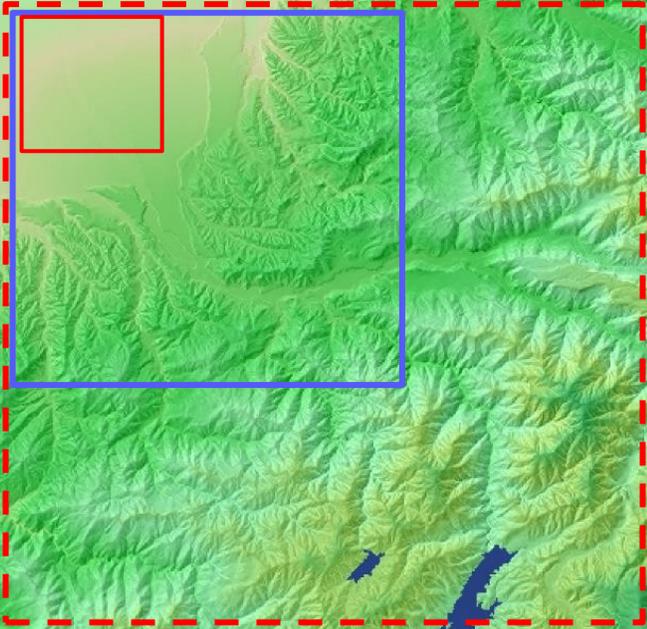
NHK放送案内



1: 黒部の発電の紹介から

ソーラーシェアリングで代替すると

黒4発電所
年約10億kWh



A ずっと小さい

B ほぼ同じ

C ずっと大きい 約3倍

流域面積184.5平方キロ

2:3択: 黒部ダム発電量をソーラーシェアリングで代替する面積? 会場の皆さんはB、C、Aの順

		黒4発電所	337,000 kW	の出力		
		1年は	365 日	で		
		一日は	24 時間	で		
		1年は	8760 時間	になる		
		黒4の最大年間の最大の発電量	2,952,120,000 kWh	になる	100%の連続発電	
10億kWh		実際の発電量	1,000,000,000 kWh	から9億	雨量の制限	
			33.9%	が稼働率		
		1億	100,000,000			
		1kWの太陽光発電は1年間で	1,000 kWh	発電できるので		
		常時発電出来れば	8,760 kWh	になるが		
			11.4%	が稼働率	黒4の1/3	
		同じ規模を発電する太陽光発電は	1,000,000 kW	になる		
		ソーラーシェアリングは1haで	500 kW/ha	少なくとも設置できるから		
		ソーラーシェアリングは1haで	500,000 kWh/ha			
		黒4発電所と同じ年間発電量は	2,000 ha	でソーラーシェアリングの実施に等しい		
		1ha (100m四方) は	10,000 m ²	だから		
		上記2000haは	20,000,000 m ²	で		
		上記2000haは	4,472 m四方	に等しい		
よって黒4ダムに匹敵する規模のソーラーシェアリングはおよそ4.5km四方ということになる						

赤枠が黒4発電所の電力をソーラーシェアリングで代替する大きさ

4: 黒部の太陽が無数に作れることを説明



注：地図はカシミールで作成

黒4は唯一無二だが黒4クラスのソーラーシェアリングは無数に作れる

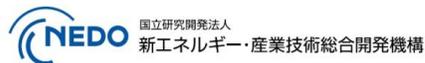
Nedoからガイドライン

営農型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン

2023 年版

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」の結果として得られたものです。

2023 年 4 月 28 日



生きる、を支える科学技術

5: ガイドラインの問題点について

傾斜地設置型/営農型/水上設置型

太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版

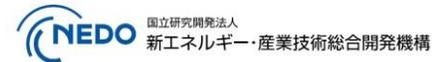
技術資料:

藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験

(設計用風力係数の検討)

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」事業の結果として得られたものです。

2023 年 4 月 28 日



藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験（設計用風力係数の検討）

1. 実験概要

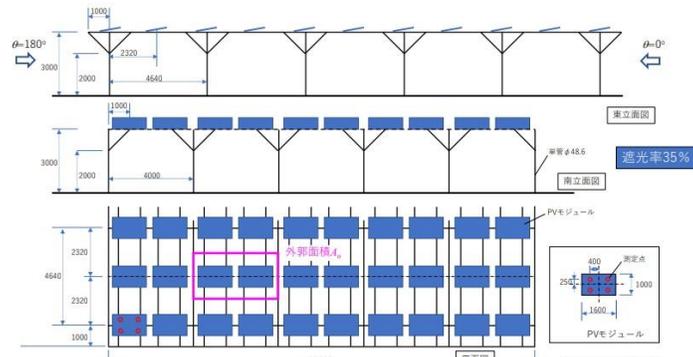
1.1 対象架台

営農型 photovoltaic (PV)は、モジュール下部において農作物を生育するために PV モジュールの遮光率が低く、かつ、農業機械を利用できるように架台の高さが高く、柱スパンが広いことが、地上設置型 PV との違いである。国内において使用される営農型 PV 架台としてはモジュールが独立して架台に設置されている藤棚式と、モジュールが東西方向に連続して配置されているアレイ式が主であり、本資料では藤棚式を対象としている。架台の柱スパンは 4 m × 4.6 m、地面から PV モジュール下端までの高さが 3 m であり、遮光率 (β) は約 35%と約 70%とした。それぞれの架台立面図・平面図を図 1-1 と図 1-2 に示す。遮光率の定義はモジュールの載る架台の外郭平面積に対する PV モジュール等 (架台の部材等を含む)の水平投影面積の比率とすることが一般的であるが、ここでの遮光率は便宜的にモジュールの載る架台の外郭平面積 (A₀: 図 1-1 および図 1-2 参照) に対する PV モジュールの設置角度を 0 度 (水平) にしたときの水平投影面積の比率としており、図 1-1 と図 1-2 に示す架台における遮光率はそれぞれ

$$(1.6[m^2] \times 110[枚]) / (20[m] \times 4.64[m] \times 5.50[スパン]) = 34.5\%$$

$$(1.6[m^2] \times 210[枚]) / (20[m] \times 4.64[m] \times 5.25[スパン]) = 69.0\%$$

であるが、ここでは呼称としてそれぞれ簡単に 35%、70%と表現する。



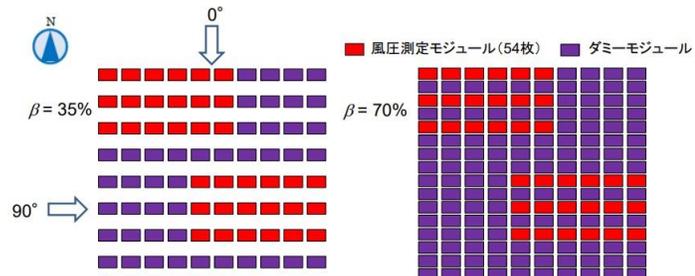
1.3 風洞実験詳細

風洞実験は大成建設株式会社技術センターで行われた。実験模型は縮尺 1/50 で作製し、これを建築物荷重指針・同解説 (日本建築学会、2015 年: 以後、「荷重指針」と称する) で規定されている地表面粗度区分 II に対応する気流中に配置され、モジュール面の風圧測定が行われた。モジュール 1 枚の上下面に 4 点ずつ圧力測定孔が配置されており、ここで記録される風圧データをサンプリング周波数 600 Hz、実時間換算で 50 分ほど計測した (風速縮尺が 1/3.5、時間縮尺が 1/14)。このとき、高周波数のノイズを取り除くためにカットオフ周波数 300Hz のローパスフィルターを使用した。また、計測に用いたチューブによる圧力変動の位相遅れや振幅の歪みは計測システムの周波数応答関数を用いて補正した。こうして得られたモジュール上面および下面の風圧 P_e および P_i を以下の式で基準化し、風圧係数 C_{pe}、C_{pi} に変換した。

$$C_{pe} = (P_e - P_s) / q_{He} \dots\dots\dots (1.1)$$

$$C_{pi} = (P_i - P_s) / q_{He} \dots\dots\dots (1.2)$$

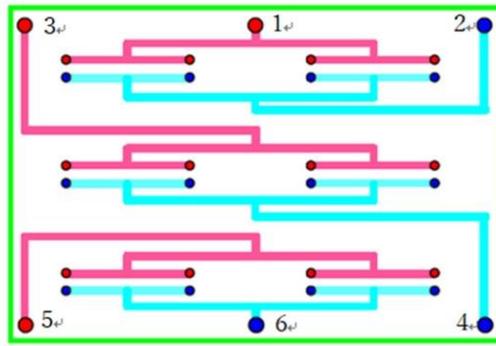
実験では 0 度 (北) から 355 度までを 5 度刻みの風向(φ)で計測した。風向の定義を図 1-3 に示す。また本実験では架台に配置された全てのモジュールに圧力測定孔が設置されているわけではない。図 1-3 には β=35% と 70% それぞれの架台に配置された圧力測定孔を有するモジュール (風圧測定モジュール) と有しないモジュール (ダミーモジュール) の配置関係を示す。加えて β=35% の場合のみ、モジュール下に人工芝を配置して、農作物の有無 (実大 500 mm 相当) の影響も検討した。



6: ガイドラインの問題点について 実験の正当性についての説明が皆無 を指摘

パネル内のマニホールド（内径1mm、長さ65mm）で連結した風圧chは内径1mm、外径1.6mm、長さ150mmの金属製チューブ(圧力タップ)をパネルを支持する柱として取り付け、さらに内径1.5mm、外径2.5mm、長さ800mmの塩化ビニール製チューブで風洞床下まで延長した（写真3-1参照）。

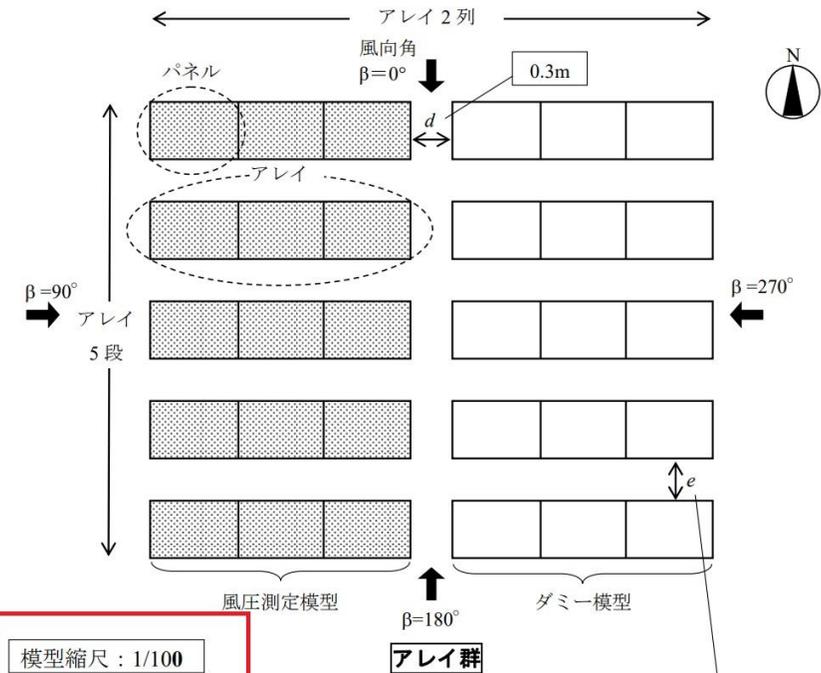
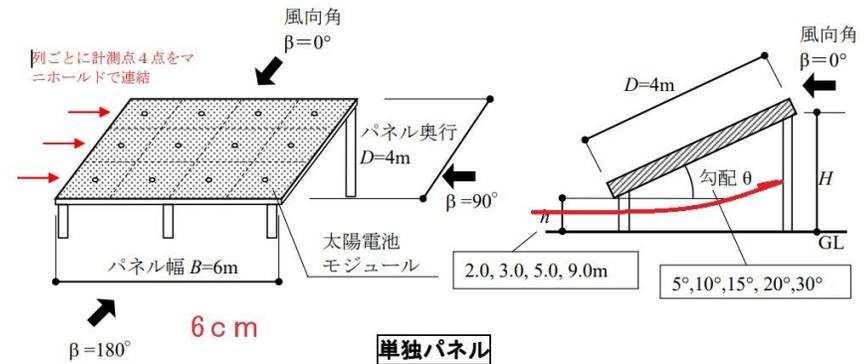
- 柱(銅チューブ)表面圧用
- 柱(銅チューブ)裏面圧用
- 外圧計測穴(パネル表面)
- 外圧計測穴(パネル裏面)



実験データ表示



図3-2 パネル単体の風圧計測孔と風圧計測chの概要

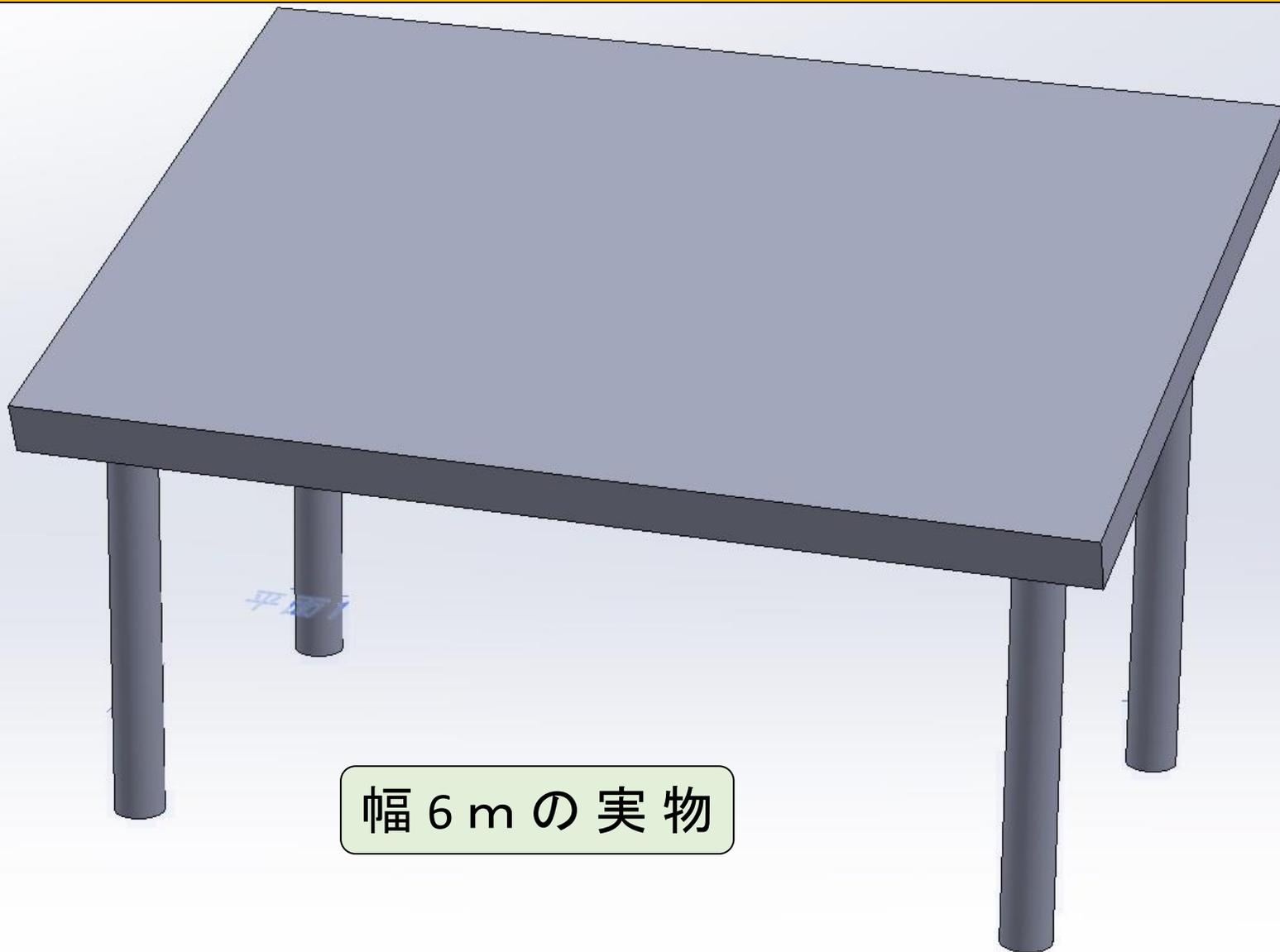


- B: パネルの幅
- D: パネルの奥行
- h: パネル南側端部の持上げ高さ
- H: パネル北側端部の持上げ高さ
- θ: パネル面の勾配
- d: アレイ間隔(東西方向)
- e: アレイ間隔(南北方向)

南北方向の間隔 e はパネルの日影を考慮し、パネルの勾配 θ 毎に設定する。

5° : 0.8m ^{*1}	10° : 1.6m ^{*1}	(15° : 2.4m ^{*1})
20° : 3.1m ^{*1}	30° : 4.6m ^{*1}	

*1: 北緯35° における AM9:00 および PM3:00 の日影を考慮
*2: 北緯38° における AM9:00 および PM3:00 の日影を考慮



幅 6 m の実物

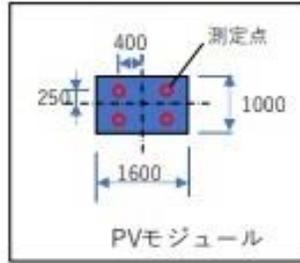
模型を使用する実験は実際と照合し、正当性があることの証明が何より必要

幅 6 cm の模型

100倍すれば現実と大きく乖離していることが解る



1.3 風洞実験詳細



模型縮尺1/50

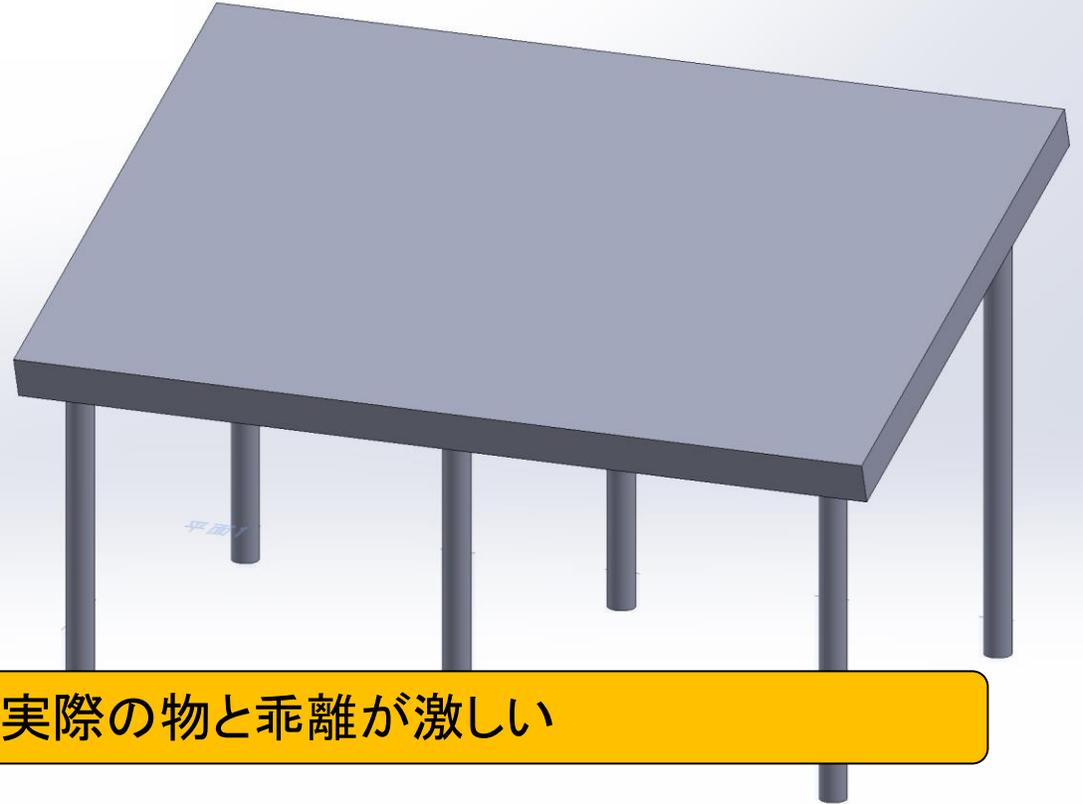
風洞実験は大成建設株式会社技術センターで行われた。実験模型は縮尺 1/50 で作製し、これを建築物荷重指針・同解説（日本建築学会、2015 年：以後、「荷重指針」と称する）で規定されている地表面粗度区分 II に対応する気流中に配置され、モジュール面の風圧測定が行われた。モジュール 1 枚の上下面に 4 点ずつ圧力測定孔が配置されており、ここで記録される風圧データをサンプリング周波数 600 Hz、実時間換算で 50 分ほど計測した（風速縮尺が 1/3.5、時間縮尺が 1/14）。このとき、高周波数のノイズを取り除くためにカットオフ周波数 300Hz のローパスフィルターを使用した。また、計測に用いたチューブによる圧力変動の位相遅れや振幅の歪みは計測システムの周波数応答関数を用いて補正した。こうして得られたモジュール上面および下面の風圧 P_e および P_i を以下の式で基準化し、風圧係数 C_{pe} 、 C_{pi} に変換した。

参考：足高の模型
横幅6cm柱1.9mm



5: 実験の正当性について 藤棚式ではさらに小さく実際の物と乖離が激しい

幅3.2cm横2cmの模型
マッチ箱



幅6cmの模型

9: 藤棚式で新風力係数を明記しているが 曖昧にぼかし採用せよとは明確に言わない

一方、藤棚式の架台については、多スパン構造（多数の支柱が梁で連結された構造）で、太陽電池モジュールが疎らに配置されるため、アレイ式とは異なる設計用風力係数を与える必要がある。表 7-2は、【技術資料：藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験（設計用風

38

力係数の検討）】に示した実証実験（風洞実験）の結果をもとに設定した藤棚式の設計用風力係数であり、風圧荷重の算定対象とする面積（ここでは「対象面積」と称する。対象面積はアレイ面を含む解析対象フレームの外郭面積を想定） A_0 、遮光率 β 、アレイ面の角度 θ に対応したアレイの風力係数として与えている。対象面積 A_0 は、ここでは図 7-5 に示す①～③で設定されており、解析対象のフレームの範囲に依じて設定できるように与えられている。遮光率 β （35%、70%）およびアレイ面の角度 θ （10度、30度）は、風洞実験での測定条件にもとづいている。設計用風力係数としては、アレイ面の設計用風力係数 C_a とモーメント係数 C_M を与えており、図 7-4 に示す風圧荷重 W_a および M_a （モーメント）を考慮することで、支持物の各部材（モジュール固定金具、梁、支柱など）に作用する荷重の偏りを含めたより合理的な荷重設定を行うことができる。なお、風圧荷重 W_a および M_a は式(7-5)、式(7-6)で算出することができる。また、ここでの端部アレイと中央部アレイの領域は JIS C 8955:2017 とおおむね同様であるが、図 7-5 に示すように対象面積によって領域の範囲（幅）が変化することに注意する必要がある。

JIS否定の風力係数だが採用せよとは一言も記述されていない

JIS C 8955:2017			
パネル1枚あたりでJISによる			
パネル横	1.6	m	
パネル縦	1	m	
パネル面積 A_o	1.6	m^2	
JIS C_a 10度	0.85		
$C_a * A_o$	1.36		

端部	$A_o * C_a * \beta$ の値の比較		
パネル数	6枚	2枚	1枚
A_o : 対象面積	25.6	7	3.5 m^2
C_a	1.3	2	2.2
β : 遮光率	0.35	0.35	0.35
$A_o * C_a * \beta$	11.65	4.90	2.70
対象面積内パネル数	6	2	1
パネル1枚あたりで	1.94	2.45	2.70
上記はJISより	1.43	1.80	1.98 倍

増強要求で基礎から部品まで全てのコストが上昇

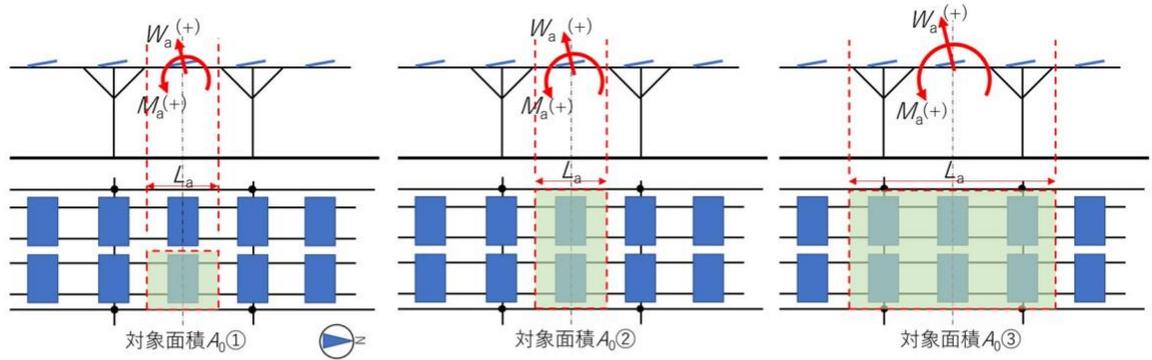


図 7-4 風圧荷重 W_a , M_a , 対象面積 A_o およびモーメント距離 L_a の定義

表 7-2 営農型太陽光発電設備（藤棚式）の設計用風力係数

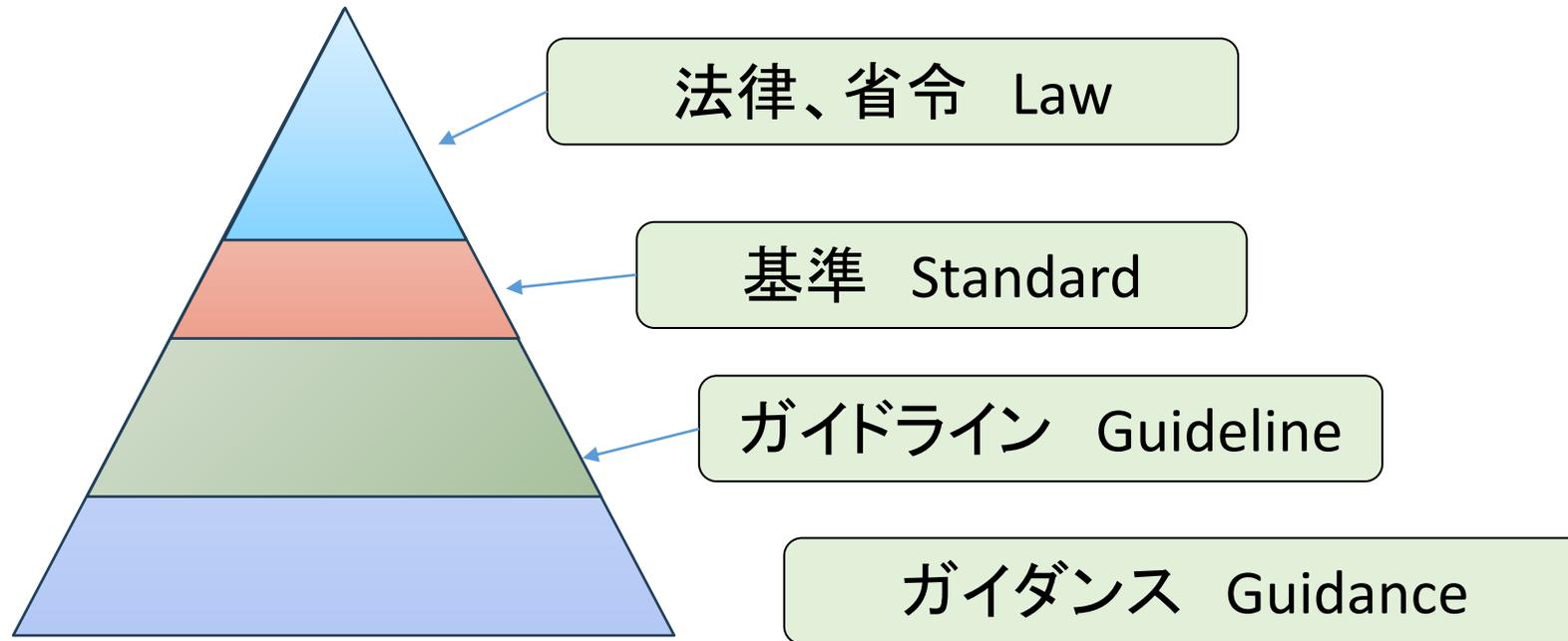
アレイの角度 θ (度)		10	10	30	30	10	10	30	30
遮光率 β (%)		35	70	35	70	35	70	35	70
C_a	対象面積 $A_o(m^2)$	端部アレイ：順風（正圧）				端部アレイ：逆風（負圧）			
		①3.5	2.2		3.2		-2.5		-3.4
	②7.0	2.0		3.1		-2.3		-3.2	-2.7
	③25.6	1.3	1.1	1.9	1.3	-1.4	-1.2	-2.0	-1.5
C_{Ma}	①3.5	0.20		0.30		0.25	0.40	0.25	0.40
	②7.0	0.20				0.20	0.35	0.20	0.35
	③25.6	0.20		0.30		0.20		0.35	0.30
C_a	対象面積 $A_o(m^2)$	中央部アレイ：順風（正圧）				中央部アレイ：逆風（負圧）			
	①3.5	1.7	1.3	2.3	1.5	-1.7	-1.3	-2.3	-1.8
	②7.0	1.5	1.2	2.0	1.3	-1.5	-1.3	-2.2	-1.7
	③25.6	0.8	0.6	1.3	0.7	-1.0	-0.7	-1.6	-1.2
C_{Ma}	①3.5	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20			
	②7.0	0.10				0.15		0.10	0.20
	③25.6	0.10				0.10			

備考：対象面積①～③はそれぞれ次の面積を想定している。
 ①：2m×1.2m=2.4 m^2 ($\beta=70\%$) ~ 2m×2.3m=4.6 m^2 ($\beta=35\%$) ⇒3.5 m^2 (中央値)
 ②：4m×1.2m=4.8 m^2 ($\beta=70\%$) ~ 4m×2.3m=9.2 m^2 ($\beta=35\%$) ⇒7.0 m^2 (中央値)
 ③：4m×5.8m=23.2 m^2 ($\beta=70\%$) ~ 4m×7m=28 m^2 ($\beta=35\%$) ⇒25.6 m^2 (中央値)
 アレイの角度が10～30度、遮光率が35～70%、対象面積 A_o が3.5～25.6 m^2 の範囲内による場合は、それぞれについて直接指定した値を用いることができる。

なお、架台形式やモジュールの配置パターンが【技術資料：藤棚式営農型太陽電池アレイの風洞実験（設計用風力係数の検討）】に示したものと大きく異なる場合には、風洞実験を実施して風力係数を確認する必要がある。風洞実験の実施に当たっては、自然風の気流特性の再現や縮小模型を使用した場合の実験相似則の考慮など、専門的な知識を要するため、次の文献を参考に専門家の指導のうえ実施する。

- ・ 「太陽光発電システム耐風設計マニュアル」、太陽光発電システム風荷重評価研究会編、日本風工学会・東京工芸大学風工学研究拠点、2017年2月⁷⁻³⁾
- ・ 「実務者のための建築物風洞実験ガイドブック」、日本建築センター、2008年⁷⁻⁴⁾

ガイドラインとは



今回のガイドラインは上位のJISを否定しない苦肉の策といえる
またソーラーシェアリング推進の意欲をそぐ……か

13: 問題点が多すぎるガイドラインを乗り越えよう

今からでも遅くない

国民の皆さんが納得し喜ぶような
ソーラーシェアリングの
ガイドラインを作ろう

ソーラーシェアリングが環境の変化に気づき
対応出来なければ 「ゆでがえる」に

これから先の10年

大普及は自己に厳しい5つの条件の設定を

白い猫も黒い猫も発電すればOKの時代の終焉

NHK「まんぷく」

第1に 導入前の農作を維持発展できること 作付け変更させない

第2に 田園風景を悪化させない 住人の皆さんへの配慮を大切に

第3に 土地の傾斜に合わせてられる柔軟性をもつこと。対象地の拡大

第4に 軽くて強い 高額な地盤調査不要 農地への負担最少に

第5に アルミ架台を60年長期使用する パネル取り付け部の規格化

これ見よがしの再エネでなく
存在を感じない控えめな再エネ
Stealth性



14: 誰にでも歓迎される仕様を作る必要性

ご静聴ありがとうございました

CHO技術研究所

長島 彬