

昭和58年度

サンシャイン計画委託調査研究成果報告書

日豪等太陽エネルギー技術協力事業
日仏太陽エネルギー技術協力

昭和59年3月

新エネルギー総合開発機構

NEDO 図書・資料室



010017980-3

日豪等太陽エネルギー技術協力事業
日仏太陽エネルギー技術協力

新エネルギー総合開発機構
昭和59年3月

研 究 目 的

日本国政府とフランス共和国政府との間の科学技術協力協定に基づ
く日仏間の太陽エネルギー技術協力を遂行する。

日仏太陽エネルギー技術協力調査報告

I 総 論

1. 経 緯

今回の渡仏調査、情報交換に到るまでの、日仏太陽エネルギー技術協力についての経緯概略は、以下のとおりである。

1974 年 7 月

「日仏科学協力協定」締結。（科学技術全般、混合委設置、必要に応じ各分野毎の専門部会を設ける。）協定書は附 1 参照のこと。

1977 年 5 月

第 3 回混合委員会において新エネルギー専門部会を設置

その後、太陽熱発電及び太陽冷暖房給湯システムの分野を中心に情報交換を実施。

1979 年 9 月

仏側の機構改革（太陽エネルギー庁（COMES）の設置等）に伴い、代表者が工業省エネルギー・原料局参事官 Barry Du Bois 氏に変更。

1980 年 3 月

仏側より熱発電の技術者交換を含む下記 7 項目の技術協力について提案。

- ① 熱発電技術者交換
- ② 気象測定
- ③ 光電変換に関する評価法
- ④ 住宅用ソーラーシステムの評価法
- ⑤ バイオマス
- ⑥ 地 熱
- ⑦ 新エネルギーに関する基礎研究調査

日本側は、上記①の技術者交換及び②～⑦の情報交換について賛意を表明。

1982 年 10 月

仏側の機構改革により AFME (Agence Francaise pour La Maitrise, France Agency for Energy Management)が発足。従来の COMESに代わり、AFMEで新エネルギー等の技術開発の推進を図ることになった。

1982 年 3 月

村上浩一（NEDO太陽技術開発室）久門敏彦（EPDC技術開発部）により訪仏太陽熱及び光の利用技術の開発状況調査が行われた。

1983 年 3 月

佐々木俊一（NEDO太陽技術開発室）、田中良忠（電子技術総合研究所エネルギー部）により訪仏。太陽熱の利用技術について開発状況調査及び日仏間の意見交換が行われた。

2. 調査目的

今回の調査は以下に記す目的をもって実施された。

- (1) AFMEのパリ本部を訪問し、日仏間の太陽エネルギー技術開発の状況の意見交換を行うこと。
- (2) AFMEの Sophia Antipoli 支局を訪問し、日仏間の太陽エネルギー技術開発の情報交換を行うとともに Sophia Antipoli 支局近辺（マルセイユ、ニース等）の太陽光発電システムの調査を行うこと。
- (3) C. G. S. の中央研究所及び Photowatt で研究されているリボン結晶引き上げ技術について調査すること。
- (4) Rhone Poulenc社で行なわれているシリコン原料の開発状況の調査を行うこと。

3. 調査日程等

今回の調査の日程及び調査派遣者は以下の通りである。

(1) 調査日程

3月13日(火)	東京発
3月14日(水)	マルセイユ着
3月15日(木)	高速道路非常用通信システム
3月16日(金)	ニース空港光発電システム
3月17日(土)	AFME Antipoli 支局
3月19日(月)	ロープウェイ非常用通信システム
3月20日(火)	C.G.E.中央研究所（リボン結晶）
3月21日(水)	AFMEパリ本部
3月22日(木)	Rhone Poulenc社（シリコン原料）
3月23日(金)	パリ発
3月24日(土)	東京着

(2) 調査派遣者

新エネルギー総合開発機構 太陽技術開発室

主査	横	江	弘	二
主査	横	山		博

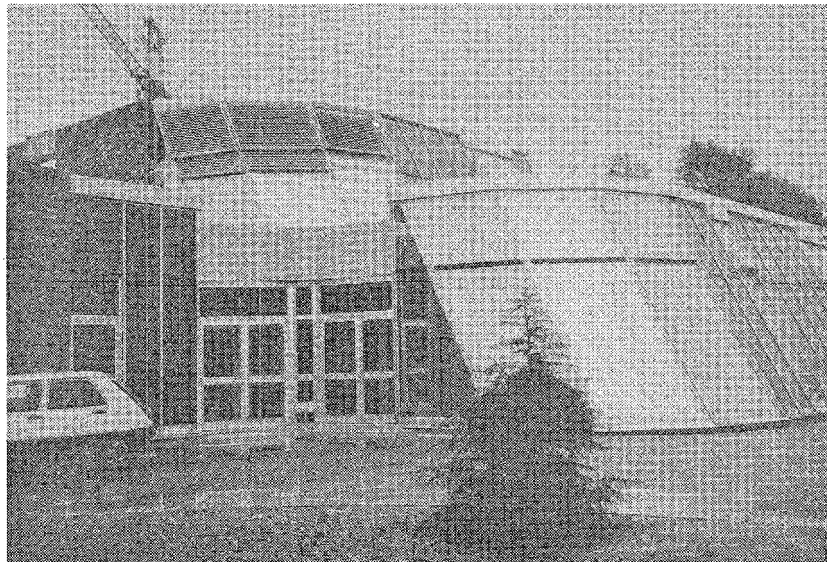
Ⅱ 各 論

1. AFME (France Agency for Energy Management)

(1) 訪問先

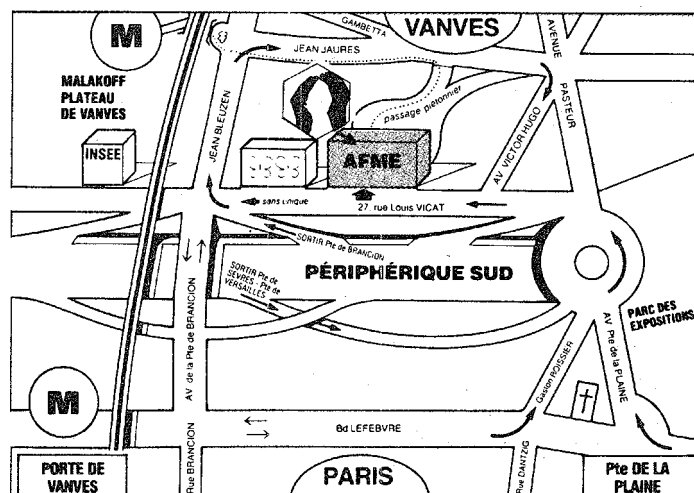
- ① Sophia Antipoli支局 対応者：Mr. DROUOT

Route des Lucioles -
Sophia-Antipolis 06565 Valbonne Cedex
Tél. : (93) 74.79.79



- ② Paris 本部 対応者：Mr. PEYRACHE

27 rue Louis Vicat, à la périphérie du 15^e arrondissement,
à proximité de Vanves.



(2) 調査概要

AFMEは、フランスのエネルギー政策を実施するために、政府により1982年10月に設立された機関であり、特に新エネルギー技術（太陽、バイオマス、風力、地

熱)省エネルギー技術(工業,建物,輸送機関)などのエネルギー関連技術の推進とそのエネルギー政策の方向付けを行うことを目的としている。

AFMEの組織と概要については前回の報告を参照していただくこととし,今回は太陽光発電を中心にPari本部およびSophia Antipole支局で情報交換した内容について報告する。

(a) 「フランス・太陽電池プログラム: 1982～1986」について

基礎研究開発期間を経て, 1981年に技術的な選択を行ない, AFMEとそのパートナーが遂行すべき5ヶ年計画(1982-1986政策)が作成された。

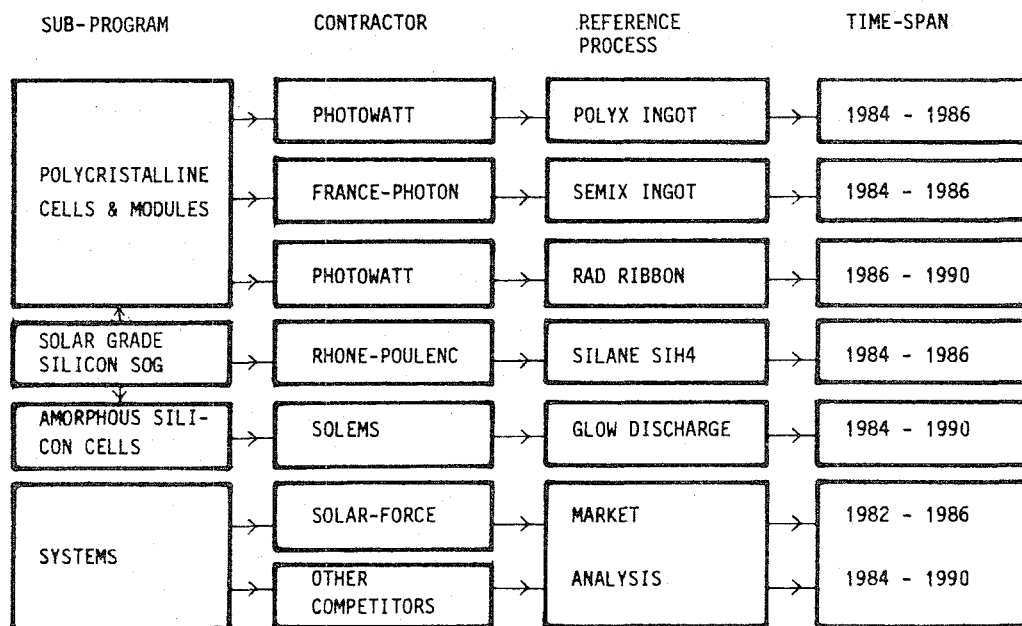
ここにその要約を報告する。(詳細は附2 The French Photovoltaic Program: 1982-1986)を参照のこと。

[プログラムの目標]

- 太陽電池製造技術 — 現在フランスのPV産業は, ウェハーを輸入に依存していることから金属シリコン(MGS)から一環して製造する技術の確立をはかること。
また, SOG製造プロセスを選択した。
- 低コスト化技術 — 1986年でモジュールで4\$/Wp 発電機レベルで9\$/Wpを目標としている。(ただし1\$=7フラン, 1982年価格)
- 世界市場シェア — 1986年で少なくとも15%(9~10MWp)のシェアを得ること。ただし, 1983年から努力を傾けるアモルファス太陽電池を含まない。

[工業化政策]

- SOGシリコン製造 — 1986年には年産100tonのSOG製造プラントをスタートさせて, 翌年にはさらに800ton/年に増大させる。価格は20\$/kg以下 — 詳細はP 21 —
- キャスティング工程 — 1983年には20kgのインゴットで効率10%(100cm²)の多結晶Siウェハーが作られ, 1986年目標はモジュール価格4\$/Wpでセル効率12%(100cm²)としている。
- リボン工程 — リボン引き上げ工程の目標は巾5cm厚さ100μ引き上げ速度とし10cm/分とし, 現在セル効率4%(4cm²)を1986年に12%(50cm²)とすることになっている。 — 詳細はP 18 —
- アモルファスSiセル — 1984年にパイロット製造ラインが運転を開始し, セル効率4%(400cm²)が期待されている。1986年目標はセル効率7%(1800cm²)としている。
- システム評価・試験 — IECとともに太陽電池およびシステムの標準化および試験方法の検討を行ってゆく。



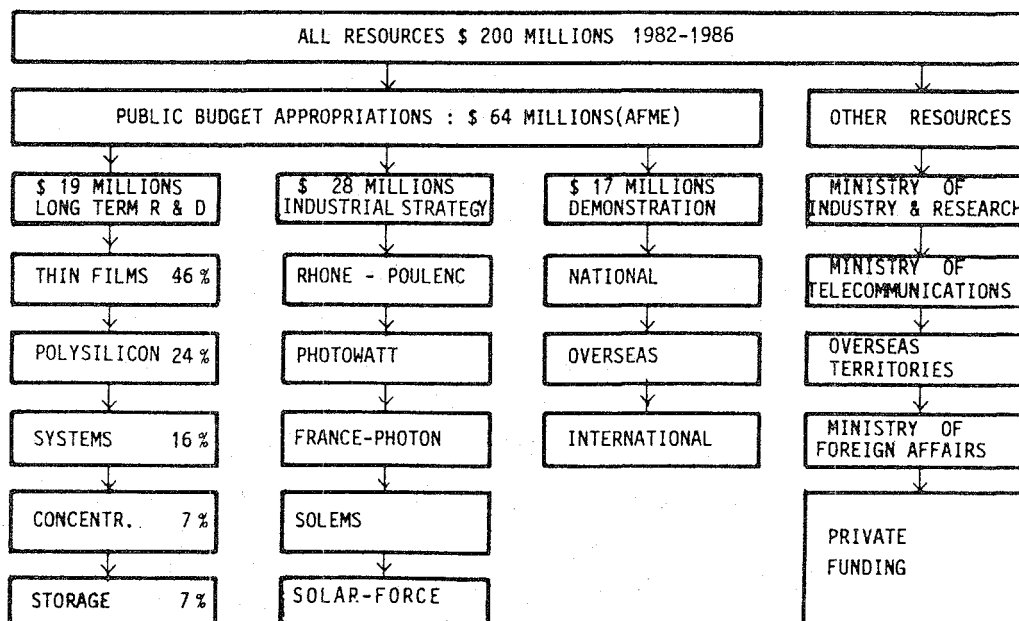
[長期研究開発]

1986 年施策のほかに、多くの研究所で MGS プラズマ精製工程、イオン注入レーザ・アニーリングなどの単結晶セルの研究開発、アモルファス Si セルの研究開発 AsGa/GaAlAs などの新形太陽電池の研究開発など長期的な研究開発が、AFME の資金援助と CNRS や大学研究所の指導のもとで実施されている。

[予算関係]

1982 - 1986 年にかけての概算予算は 64 百万ドルで大部分を AFME が取扱い、その内訳は下表のとおりである。

1983 - 1984 年の予算は、7 百万 \$ の研究開発と 3 百万 \$ の工業化政策とデモンストレーションプロジェクトを含め 12 ~ 13 百万 \$ となり、再生および新エネルギー関係予算の 40 ~ 50 % に達するとのことである。



(b) ECプロジェクトとの関係

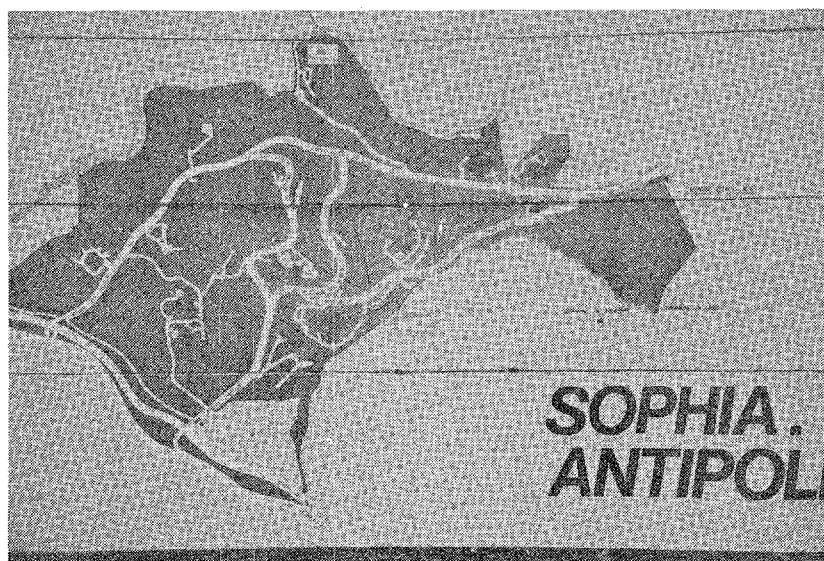
1975年にEC域内の非核・非化石エネルギー研究への助成が決定し、太陽電池についても基礎研究が進められ、1979年には中規模(30～300kW)の太陽電池システムを設置するプログラムが作成され、EC諸国から募集し16システムが認められた。

AFMEはこのうちフランスに関連する5システムについて資金援助を行っている。

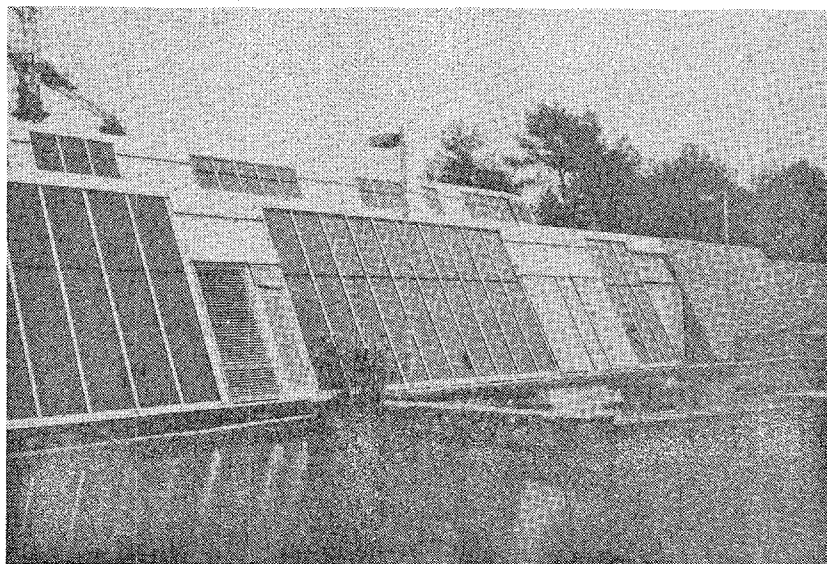
プロジェクト名	場 所	コントラクター	所 有 者	規 模	AFME分担
① AGHIA ROUMELI (村落用)	クレタ島・ ギリシャ	Seri-Renault Ingenierie	Public power corp. (ギリシャ)	50 kW	26 %
② KAW (村落用)	French Guiana	"	KAW Town Hall	35 kW	35 %
③ Paomia (村落用)	南コルシカ	Leroy-Somer	Southeen Corsica Electrification Board	44 kW	12 %
④ Nice (空港管制塔用)	ニ ー ス	Photowatt International SA	Chamber of Com- merce and Industry	50 kW	48 %
⑤ Mont Bouquet (テレビ中継局 用)	Gard	"	Telediffusion de France.	50 kW	46 %

(c) その他

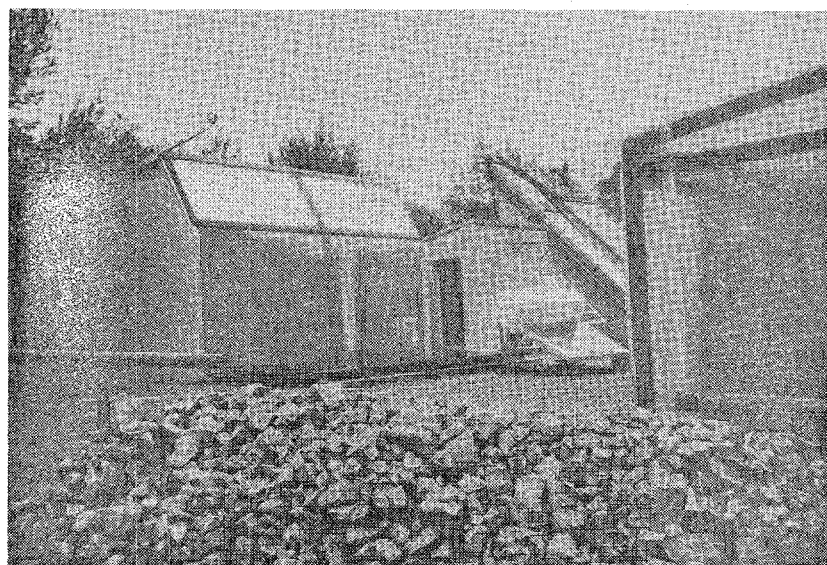
- ・ AFME Sophia Antipoli は Nice近郊に建設が進められている研究都市にあり、国際会議のできる大会議室を含めた立派な建物で、現在35名が再生エネルギー技術開発に従事しているとのことである。
- ・ また、日本との技術交流を進めるため AFME 日本支局を設置したいとのことである。



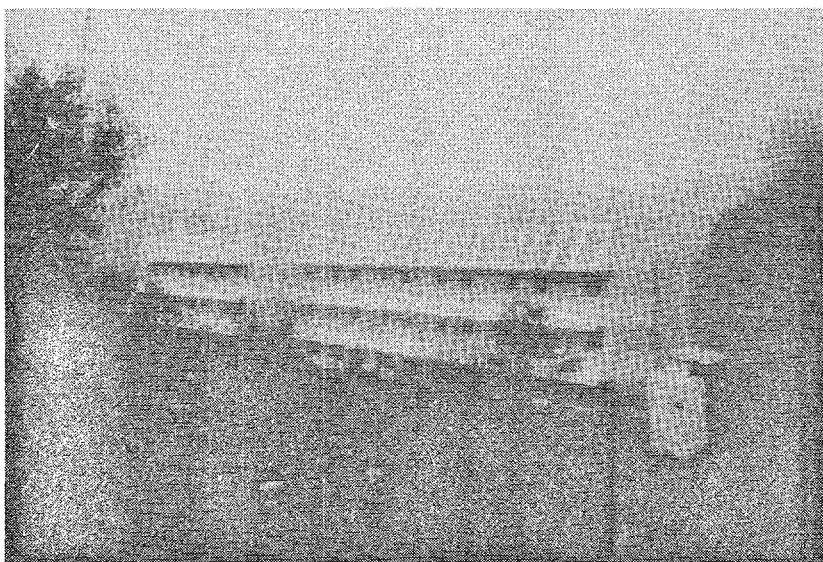
Sophia Antipoli全図(研究都市)



AFME Sophia Antipoli支局の外観



太陽熱関係の研究施設（AFME）



太陽熱および省エネ技術を利用したホテル (Sophia Antipoli内)

2. 太陽光発電利用システムの開発状況

ECプロジェクトの一環として実施しているニース空港用太陽光発電システム (50 kW) と実際に使用されている特殊用途用太陽電池システムについて調査報告する。

- (1) ニース空港太陽光発電システム (50 kW) はECプロジェクトの一つで EC および AFME の資金援助のもとに PHOTOWATT が製作したものであり、発生した電気は空港の管理棟の電子機器および地上誘導灯の電源として利用されている。

太陽電池架台 (50 kW) は、ニース空港の税関建屋 (鉄筋 2 階建) の屋上に、南向き傾斜角 30° で設置されており、飛行機の離・着陸時に容易に設置場所の確認ができる。

① システム構成の概要

システム構成は第 1 図に示すとおりで、70 ブランチ (1 ブランチ=10 モジュール) からなる太陽電池 (50 kW) から発生した直流出力をチャジレベルコントローラ (R) により蓄電池 (106 × 1500 Ah) に充電し、インバータ (5kVA, PWM) により交流に変換して負荷に供給するもので、光発電システム側の事故時または出力低下時には、バッテリーコントローラ (A) 等により商用電源に切替えられるシステムとしている。— NEDO の集合住宅用システムに近いシステム構成といえる —

[太陽電池]

- モジュール 73 Wp (PHOTOWATT International S.A 単結晶)
- アレイ構成 10 モジュール直列接続で 1 ブランチ構成 70 ブランチを 並列接続
- 総出力 50 kW (設置面積 700 m²)
- その他 多結晶 Si モジュールが 1 ブランチ、計測機器用として 1 ブランチが設置してある。

[バッテリー]

- セル 1500 Ah (10 時間) 鉛蓄電池 OLDHAM 社製
- 構成 106 セル直列接続
- Total 容量 106 × 1500 Ah (212V)

[インバータ]

- 容量 5 kVA (PWM トランジスタインバータ)
- 電圧 単相 220 V
- 入力電圧 180 ~ 220 V
- 出力電圧 220 V ± 1 % (高周波歪率 4 % 以下, 周波数変動 50 Hz ± 1 %)

[バッテリーチャージャ]

- 容量 7 kVA
- 入力電圧 AC 220 ~ 380 V (3 相) 50 Hz
- 出力電圧 DC 180 ~ 260 V

[負 荷]

- 平均容量 5 kVA
- 電圧 単相 220 V (50 Hz)

② 運転状況

- 1983 年 4 月より運転研究を開始した。
- Nice の日射エネルギーは太陽電池 50 kW_p で約 48,000 kWh/年であるが、実際のシステム年間発生電力量は 38,000 kWh/年程度とのことで、平均負荷 5 kW の年間消費電力 48,000 kWh/年の 80 % に相当するとのことである。

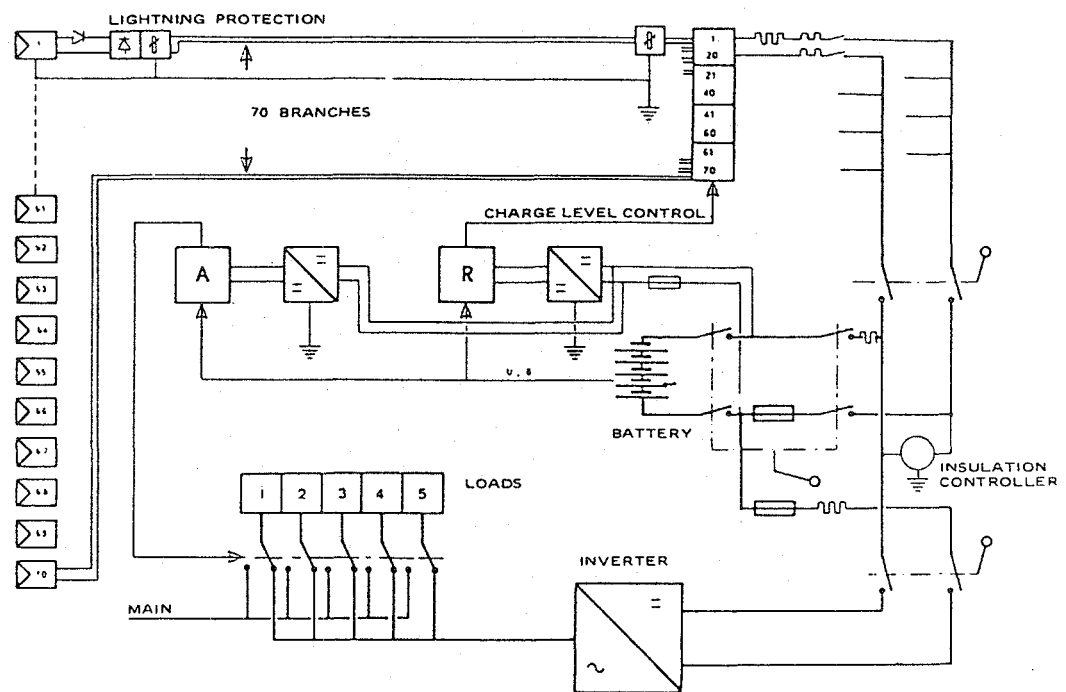
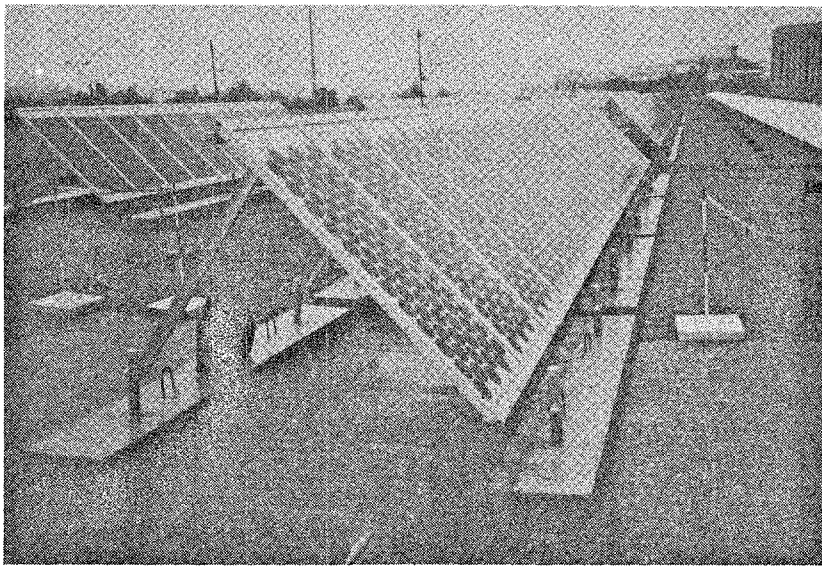
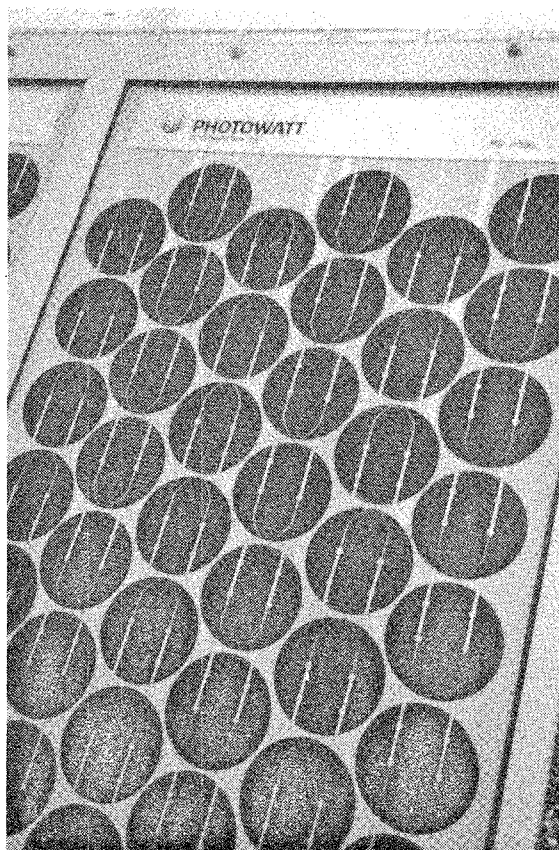


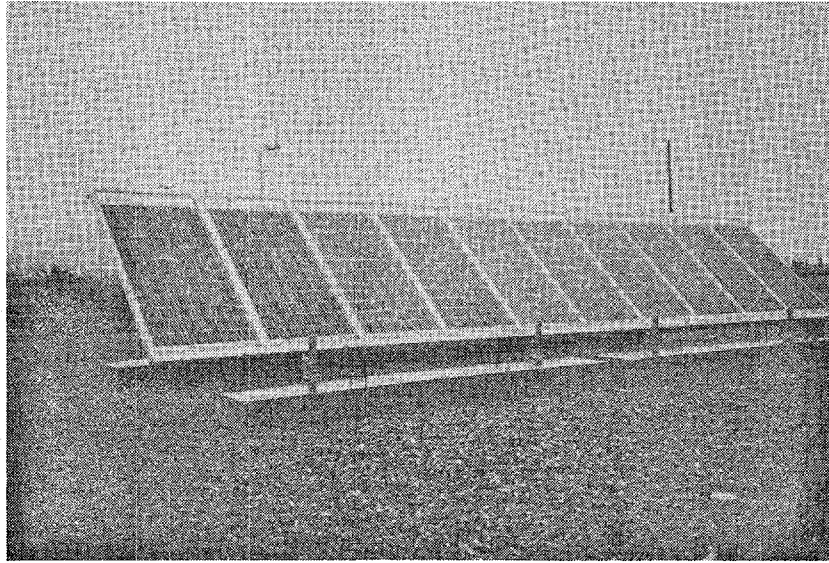
図1 システム構成図



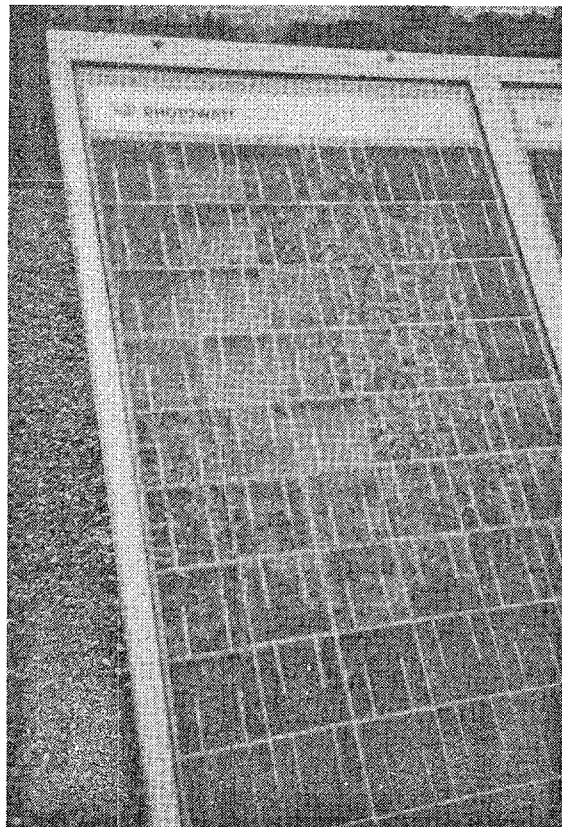
太陽電池アレイ



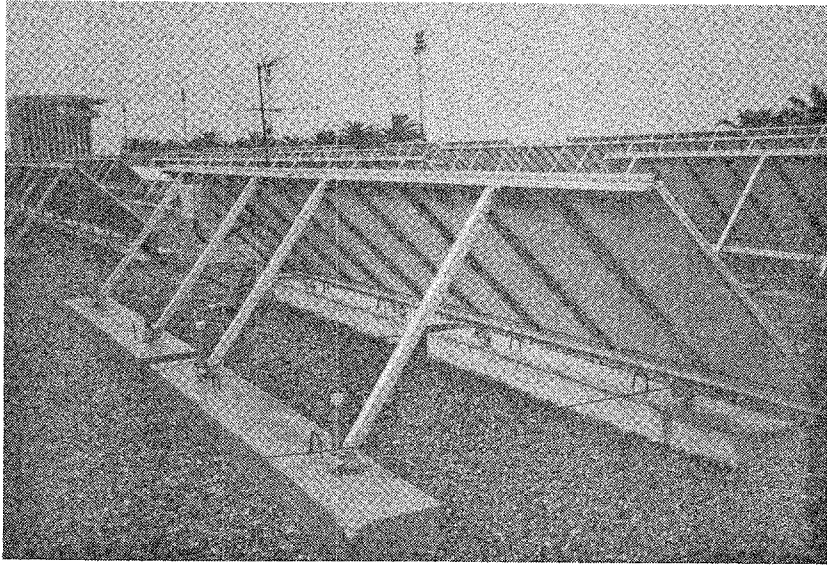
モジュール (PHOTOWATT 単結晶)



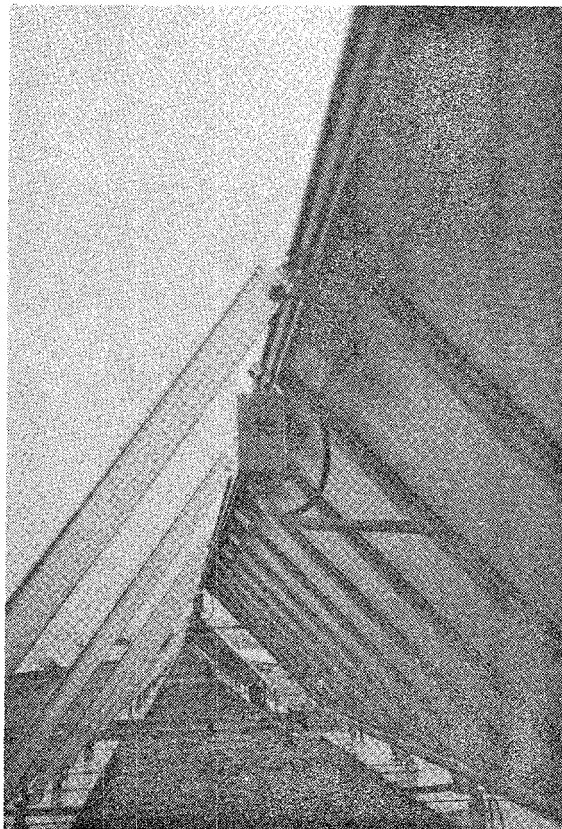
太陽電池アレイ（多結晶モジュール検証用）



モジュール（PHOTOWATT 多結晶）



屋上用架台（ワイヤを張って安定化させている。）

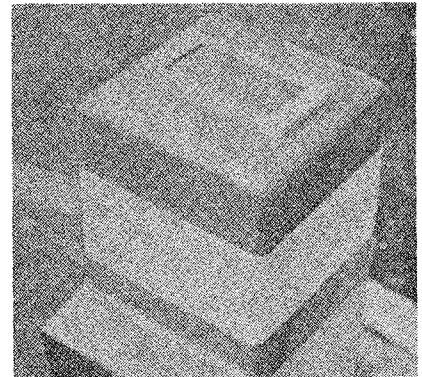
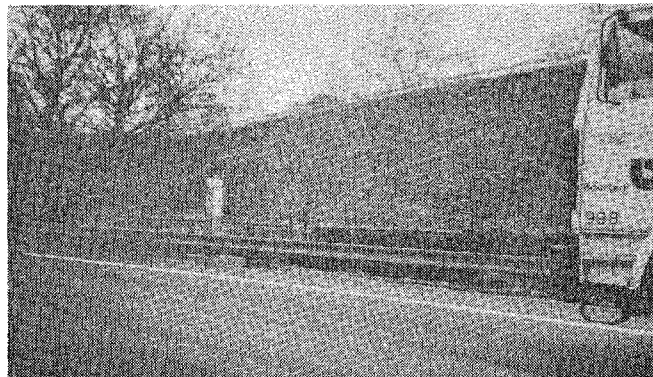
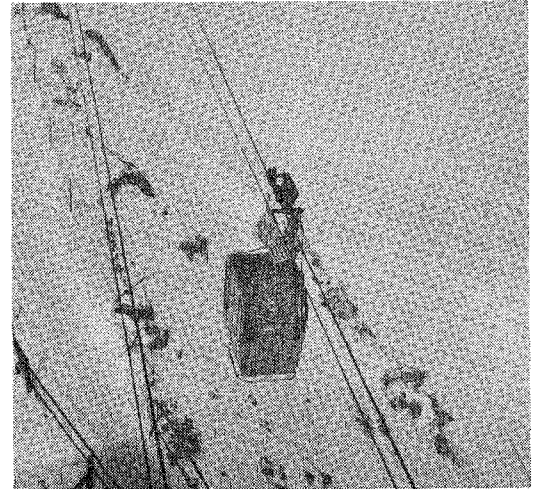
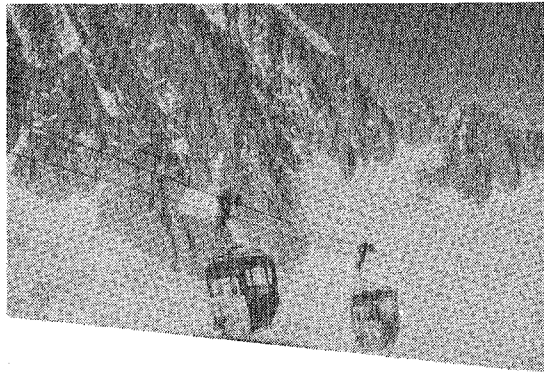


配線などシンプルにまとまっている架台裏面

(2) 特殊用途用システム

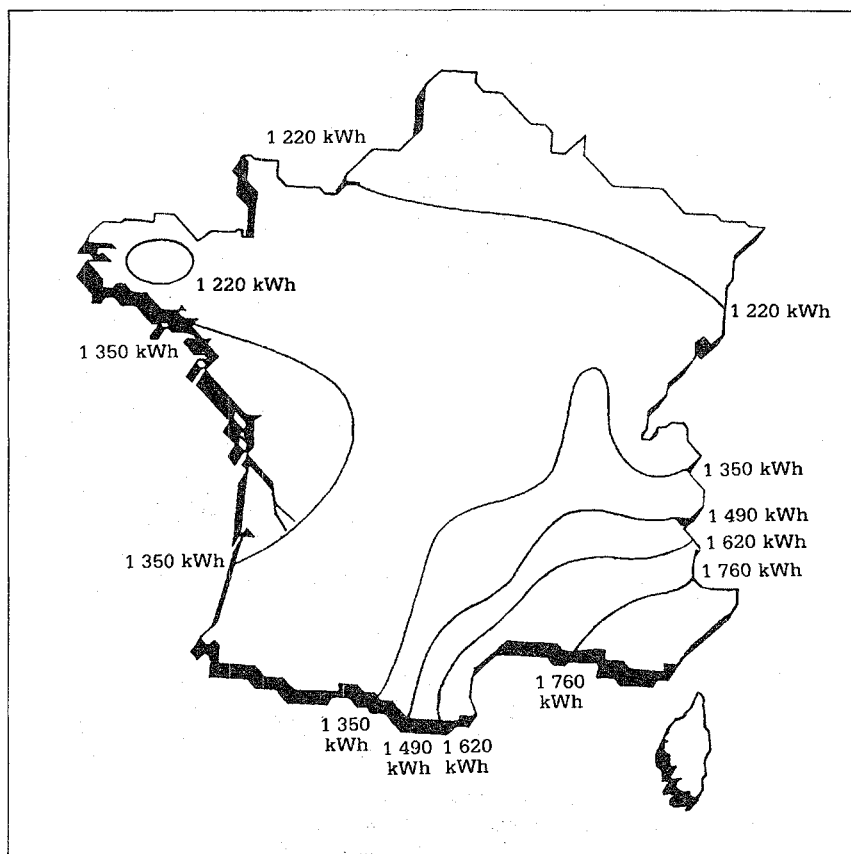
高速道路用非常用電源システム（マルセイユ）と非常通信用電源（シャモニー）などに使用されている。

また、南フランスを中心に 400 ～ 1600 Wp 規模の農業用デモシステム（40 箇所）を設置するという AFME のプログラムも 1983 年から始まっており、その成果が期待される。



高速道路用非常電話の電源システム（マルセイユ）他

L'utilisation de l'énergie solaire présente un intérêt sur l'ensemble du territoire national, au nord comme au sud. La valeur annuelle du rayonnement solaire reçu sur un plan d'inclinaison égale à la latitude et orienté vers le sud varie de 1 200 à 1 800 kWh.



フランスにおける年間日射量（緯度 ）

3. C.G.E.中央研究所

(1) 訪問先

Compagnie General Delectricite (略称 C.G.E.)の中央研究所の一部門である
Marcousis研究所

住所 : Route de Nozay, 91460 Marcousis

(2) 対応者

Dr. Jean - Pierre Dumas (Director, Marcousis 研究所)

Dr. Christian Belouet (Engineer, Material Div.)

(3) Marcousis 研究所の概要

C.G.E.は従業員約19万人を有するフランス随一の総合電機会社で、次の4つの分野に大きく分けられる。

(1) エネルギー関連

(2) 一般電気製品

(3) 通信機器

(4) その他

このうち、エネルギー関連については、重電、造船、電線、電池、新・再生エネルギーへの小分野に分かれている。

C.G.E.の Marcousis研究所は、研究員 450 人を抱えており、次の6つの部門に分かれている。

(1) Optoelectronics

(2) Electrochemistry

(3) Energy

(4) Information

(5) Material

(6) Optronics

Photovoltaics 関係 (リボン結晶等) の研究は全て、Marcousis 研究所のMaterial Divisionで行なわれている。

(4) Material Division

ここで行なわれている研究はフランスエネルギー省 (French Agency for Energy Management, 略称 AFME) の光発電技術開発 5 ヶ年計画 (1982 ~ 1986 年) の一環として、基板工程に重点をおいた研究が実施されている。(表 3 - 1, 図 3 - 1 参照) ここでの成果は C.G.E. グループの太陽電池製作担当部門として 1980 年に設立された Photowatt 社に利用させることになっている。

現在 Photowatt 社はこれらの成果に依らずに、Wacker 社の Silso 方式で製作されたマルチグレーン多結晶基板を購入して、太陽電池パネルを製造している。

(a) インゴット・キャスティング・プロセス (POLYX)

Photowatt 社と共同で、「POLYX」と称される多結晶ウェーハを製造する技術を開発している。1984 年に生産可能とするように、インゴット・キャスティングのコントロール方法の研究を実施している。現在 20kg のインゴットを試作しており、これをマルチ・ワイヤー・ソーでスライスし、350 μ m のキャストウェーハを

製造する研究を実施している。

この方法で試作されたキャスト・ウェーハ (100 cm^2) をセルにして変換効率10%を得ているとのことである。

今後の研究目標として、1986年に変換効率を12%にまで向上させることを挙げている。これにより、太陽電池パネルで W_p 当り 4\$ (約 900円/ W_p) を目指している。

(b) リボン結晶引き上げプロセス (RAD)

RAD は Ribbon Against Drop の略称で、 $200 \sim 400\mu\text{m}$ のカーボン・フィルムを石英ルツボの底部のスリットから上方に連続的に引き上げ、石英ルツボ内に溶融しているシリコンをカーボン・フィルムの両面に付着させ、これを冷却させて多結晶のシリコン膜 (リボン結晶) の膜厚は $100\mu\text{m}$ 以下で、リボン結晶の幅は 5cm である。リボン結晶引き上げ速度は約 10 cm/分 も可能との事である。 4 cm^2 の小型セルで実験室的に効率10%前後を達成したこともあるが、未だ未だ解決すべき問題点は多くあり、実用化できるか否かの判断も3~4年先にならないと分らないとの事であった。現在の技術レベルでは $50\mu\text{m}$ のリボン基板で変換効率8%とのことである。

以下に、未解決の問題点についてまとめて記述する。

(i) 薄膜カーボン・フィルムの製造法

Marcousis 研究所で Pure Carbon を購入し、これを 2000°C に昇温し、ラメラ・カーボン (Aromatic Carbon) に変成する。このラメラ・カーボンはシリコン融液と数秒間程度、接触しても反応しないとの事。このラメラ・カーボンを塩素ガスで純化し、薄膜リボン状のカーボン・フィルムを製造する。この方法で昨年10月 ('83年10月) に厚さ 200μ のリボン状カーボン膜の製造に成功しているとの事。解決すべき問題点として、安定して品質の良い (Si 融液と Non-Reactive) カーボン・フィルムを定尺 (幅, 厚さ const) で製造する大量生産技術を開発すること。

(ii) シリコン融液のメニスカス制御

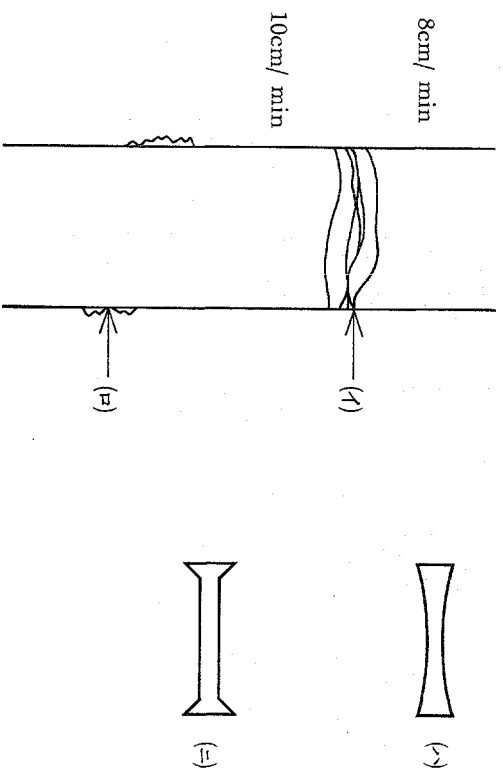
原料シリコン (約 5 mm 角の立方体) の供給量はシリコン融液のメニスカスの高さで制御されており、シリコンとカーボン・フィルムの膨張係数の違いにより、リボン結晶成長時に下記の問題点が生じているとの事。

(イ) 引き上げ速度の変化に伴う脈の発生

(ロ) リボン結晶 Edge に Crack の発生 (石英ルツボ底部の穴空き部により発生する。)

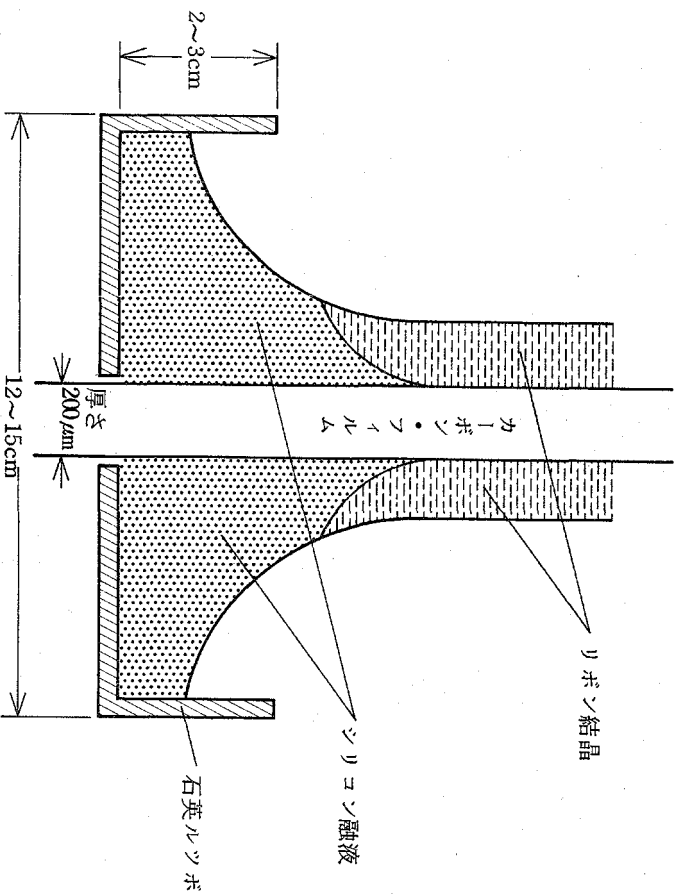
(ハ) リボン結晶の厚さの不均一性

(ニ) リボン結晶の両端部に突起発生



(iii) リボン結晶のSymmetry

カーボン・ファイラムの左右両面の熱的対称性の維持法。
これにより、左右のリボン結晶の厚さ、不均一性が損なわれる。



(iv) リボン結晶の対シリコン得率

リボン結晶の長さ1mで現在Cutしている。この後、カーボン・ファイラムを燃焼させ、2枚のシリコン・リボン結晶基板を得るが、現状では得率が悪く、メカニカル得率80%以上を目指して研究途上との事である。

(5) RAD実験室見学及び討論での感想

(a) RAD研究の第一責任者である Dr. Belouetによれば、リボン結晶引き上げの技

術は非常に難しく、実用化の時点を、現時点でコメントすることは出来ないとの事。最も早く、種々の問題点が解決できたとしてもコメント出来るのは3～4年先になるとの事だった。

- (b) RAD実験装置は一基しかなく、種々の改良を加えながら実験しているとのこと装置の工夫として、引き上げ機構に減圧吸着メカニズムを取り入れ、引き上げたリボン結晶の割れ防止、リボン結晶の押し上げ動力源としている。
- (c) 経済性、生産性について討議するには、技術内容が未だ固まっておらず時機早尚である。
- (d) まだ、実験室レベルでの技術開発段階であるので、実用化のイメージは描けない。

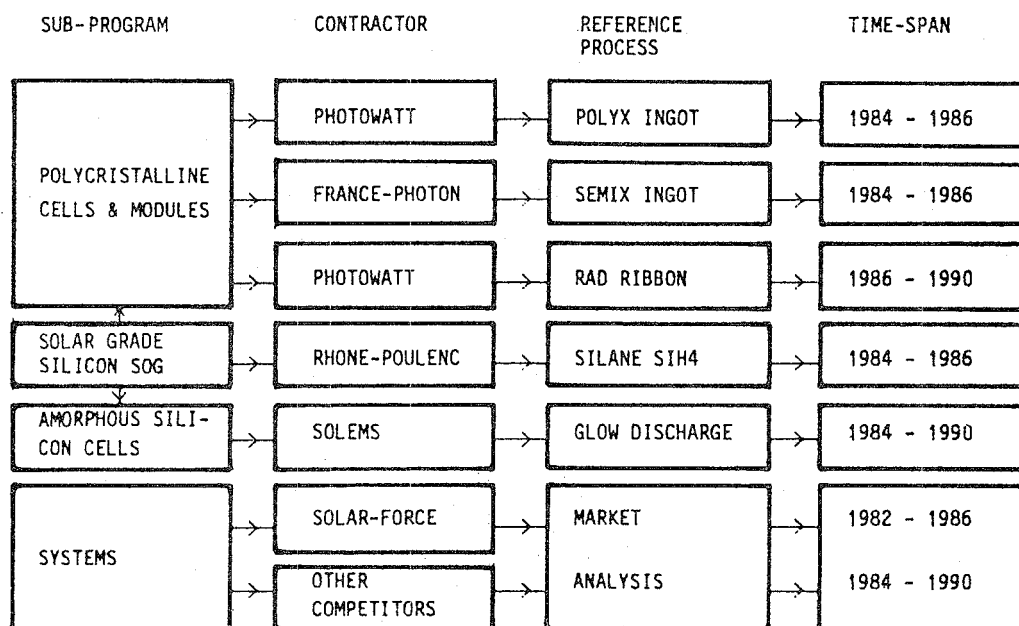


図 3 - 1 AFMEの研究開発テーマ

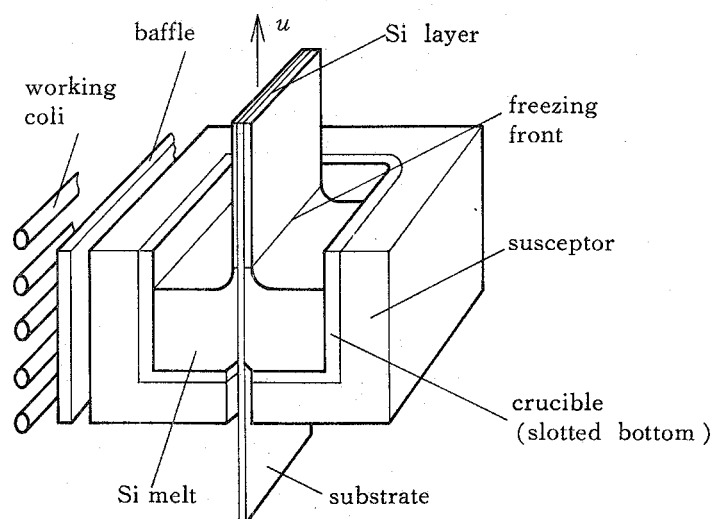


図 3 - 2 RADリボン引き上げ装置

4. ローヌ・プーラン社

(1) 訪問先

Rhone Poulenc Specialites Chimiques

(ローヌ・プーラン社特殊化学製品本部)

住所 : Les Mitoirs - defense, 3 - 92400 Courbevoie

(2) 対応者

Dr. Alain Lambert (Director, adjoind direction general)

Dr. Jacques Calzia (Senior Engineer, Planning Div.)

(3) ローヌ・プーラン社の概要

フランス最大の化学製品製造会社で従業員約10万人を持つ、世界第9位の化学会社である。事業内容は、食品、住宅機材、健康機器、衣料、家庭用機材、その他多岐にわたる専門分野を持つ総合化学会社である。

ローヌ・プーラン日本支社でも全ての事業内容を完全に把握しておらず、太陽電池や多結晶シリコンをどの程度研究しているか問い合わせても不明であった。

ローヌ・プーラン社のスペシャル・ケミカル部門が分離独立したローヌ・プーラン・スペシャリティーズミーク社がAFMEの援助を得てSolar Grade Siliconの研究開発を実施している。

(4) Solar Grade Siliconの研究開発

ローヌ・プーラン社では1976年からモノシラン製造の技術開発を実施している。この方法はリチウム還元法を用いた熔融塩プロセスで高純度のモノシランを製造するものである。太陽電池級シリコン(Solar Grade Silicon)はモノシランのクラッキングにより粉末形状で製造される。現在数TON/年のパイロットプラントで運転研究を実施している。研究開発に従事している研究者数は約15人程度で、周辺の関係者を入れると約50名程度になるとの事であった。ローヌ・プーラン社として、今後本格的に太陽電池級シリコン製造に参画するかどうかの決定を2~3ヶ月後(59年5~6月)に下すとの事。フランスエネルギー省(AFME)の計画では1984~1986年にモノシランの製造技術を開発し、その後1986年にSolar Grade Silicon(SOG)年産100TON程度のプラント建設を開始し、最終的にはSOG年産800TONのプラントに増設することになっている。

また、ここで製造されるSOGの販売価格はAFMEの考えでは\$20/kg(1982 value)以下にしたい意向である。

ローヌ・プーラン社はモノシランガスまでは企業化し、既に商品として販売しているが、AFMEのSOG 100TON/年プラントの建設に参画するかどうか、未だ決定していない。その理由として、AFMEの補助金は必要資金のMax 50%で、しかもプロジェクトが成功した場合は返還しなければならないと話していた。

利企業として事業拡大のMeritとSOG製造技術開発の投資リスクを考慮して判断材料を模索している様子であった。

日・仏科学技術協力協定

日本国政府とフランス共和国政府との間の科学技術協力協定

昭和 49 年 7 月 2 日に東京で、次の日本国政府とフランス共和国政府との間の科学技術協力協定の署名が行われた。

日本国政府とフランス共和国政府との間の科学技術協力協定

日本国政府及びフランス共和国政府は、

1953 年 5 月 12 日に署名された日本国とフランスとの間の文化協定が科学技術分野における交流をも対象とするものであることを考慮するとともに、他方において、両国間の科学技術協力の重要性が増大していることに留意し、かつ、この協力が日仏協力全体の中でふさわしい位置を占めることを希望し、この交流を相互主義の基礎の上に発展させることを希望して、次のとおり協定した。

第 1 条

両政府は、科学技術分野における両国間の協力を発展させる。この協力は、双方の共通の利益であると認められる科学技術の諸部門において、日本国及びフランスの政府機関又は政府の監督する機関の間で行われる。協力部門の選択は、科学技術分野における各国の優先度を考慮に入れるものとする。

第 2 条

科学技術協力は、特に、次の方法によって実施される。

- (a) 科学者及び技術者の交流
- (b) 両国の科学者及び技術者が参加する討論会、セミナー等の会合いずれか一方の国における開催
- (c) 共同研究計画及び共同出版の実施
- (d) 科学技術に関する情報の交換

第 3 条

1. この協定の目的を達成するため、日仏科学技術混合委員会（以下「委員会」という。）が設置される。委員会は、外交上の経路を通じて定める日に、日本国及びフランスにおいて交互に会合する。
2. 専門部会が、必要に応じ、委員会の管轄の下に設置される。専門部会は、特定の部門における協力を調整し、及び推進する任務を有する。

第 4 条

1. 委員会は、次の任務を有する。
 - (a) 科学技術協力に関する重要な問題に関し、意見の交換を行うこと。
 - (b) この協定の実施状況を検討すること。

- (c) 協力計画を作成し、両政府に提案すること。
 - (d) 科学技術協力の発展を確保するための具体的措置を、必要に応じ、両政府に提案すること。
2. 委員会は、両国間の文化協定に基づいて設置されている混合委員会に対してその活動を通報する。

第5条

この協定に基づく活動に関する手続及び技術的な事項を規定することを目的とする実施取極を日本国及びフランスの政府機関又は政府の監督する機関の間において締結することができる。

委員会は、これらの取極及びその実施について定期的に通報を受ける。

第6条

委員会の会合が開催されていない期間中この協定の実施のための両政府間の連絡は、外交上の経路を通じて行われる。

第7条

各政府は、他方の国の国民に対し、この協定に基づく活動の遂行に必要な便宜を与える。

第8条

この協定のいかなる規定も、両政府間の協力に関する現行の又は将来の取極に影響を及ぼすものと解してはならない。

第9条

この協定は、各国の法令に従って実施される。

第10条

1. この協定は、署名の日に効力を生ずる。
2. この協定は、2年間効力を有するものとし、暗黙の更新により2年ごとに更新される。

もっとも、いずれの一方の政府も、3箇月の書面による予告をもって、この協定を終了させることができる。

1974年7月2日に東京で、ひとしく正文である日本語及びフランス語により本書通を作成した。

日本国政府のために

フランス共和国政府のために

大 平 正 芳

F. ト・ラプレー

THE FRENCH PHOTOVOLTAIC PROGRAM : 1982 - 1986

Louis P. DROUOT
Solar & geothermal energy division
French Agency For Energy Management

SUMMARY

The french photovoltaic program and industrial strategy over the 5 years 1982-1986 period are presented. A statement of the objectives of the program is given in economic terms. Then, the most significant technical choices, from photovoltaic material to modules and systems, are outlined. Long-term R & D is also specified, and the 1982-1986 government funding forecast is discussed.

INTRODUCTION

The world photovoltaic (PV) market has been steadily expanding for a number of years. The expansion rate, some 50 %, should bring it from some 8 MWp sold in 1982 to almost 60-70 MWp in 1986. It has been assessed recently that this market growth was largely independant from energy substitution trade-offs and economics. Actually, it becomes more and more evident, year after year, that the financial capabilities of those countries who are interested in PV are the limiting factor. PV technologies are opening a whole spectrum of new products and new applications. Besides well-known applications such as water pumping, communication networks and other terrestrial or commercial systems, new markets are expanding : leisure and toy industry, instrumentation, urban furniture, remote sensing systems, and so on. Because France has recognized the vast potential of PV applications, she has enacted a major effort in PV development since 1978. After a first period of R & D investigation, major technical choices were made during 1981, leading to a 1982-1986 strategy which is being implemented by the French Agency for Energy Management (AFME) and its industrial partners.

OBJECTIVES OF THE PROGRAM

Silicon Chain Integration

French PV industry is dependent upon imports for wafers. It is recognized that in order to enact a major industrial effort to promote PV industry, it is necessary to integrate a national silicon chain, starting from Metallurgical Grade Silicon (MGS). The process for Solar Grade Silicon (SOG) preparation was chosen according to its adaptation to different wafer and cell manufacturing processes.

Production Cost Reduction

Although it has been suggested before that there is no direct relation between market volume and energy substitution economic trade-offs, there is nevertheless a relation between PV systems costs and market volume. Thus, production costs reduction should be a major target, and was integrated as such in the French PV program. In 1982 money, and assuming a FF 7/\$ conversion

rate, the objectives of the program are to achieve \$ 4/Wp at the module level by 1986, and \$ 9/Wp at the generator level. The SOG target has been set at \$ 20/kg.

World Market Share

French market share has been around 10 % in 1982. The objective is to get a 15 % share minimum in 1986 from the 60-70 MWp world market. French PV Industry would then be at that time a \$ 100 million business corresponding to a 10 MWp yearly production. These figures do not include the amorphous silicon cells development, for which AFME is devoting a major effort since the beginning of 1983.

INDUSTRIAL STRATEGY OF THE PROGRAM

Solar Grade Silicon

RHONE POULENC was chosen as a major partner for SOG manufacturing. A molten salt process is developed, using lithium reduction, to prepare high-purity silane SiH_4 , then SOG powder by cracking. This process is very attractive for many reasons : the yield is almost 100 % in silicon ; there are no by-products which could pose handling problems ; it does not require heavy energy inputs to be operated ; it can produce at the same time high-purity silane, for use in the electronics industry or amorphous silicon cells industry, and high-purity SOG for other PV cells manufacturing processes. The production objective is to start a manufacturing plant in 1986, with initial capacity at 100 tons per year of SOG. The capacity could eventually be increased up to 800 tons per year in the following years. The selling price of the SOG produced should be under \$ 20/kg (1982 value).

Ingot Casting Process (POLYX)

PHOTOWATT and LABORATOIRES DE MARCOUSSIS have developed a proprietary ingot casting process called POLYX, to prepare polycrystalline silicon wafers. A good control of the ingot casting process has been achieved, so that it will be implemented on the production line in 1984. A multiwire proprietary slicing will be used to prepare wafers of not less than 350 microns thickness. Ingots of 20 kg are prepared in 1983, and polycrystalline silicon cells of $100 \text{ cm}^2/10 \%$ are manufactured. The aim is to reach $100 \text{ cm}^2/12 \%$ cells by 1986, leading to \$ 4/WP modules.

FRANCE-PHOTON is also integrating polycrystalline silicon cells manufacturing, but will not prepare wafers by itself. It has already achieved very good conversion efficiencies using SEMIX wafers.

Ribbon Pulling Process (RAD)

PHOTOWATT and LABORATOIRES DE MARCOUSSIS are devoting time and effort to develop a very promising ribbon pulling process, called RAD. Its unique characteristic is the direct growth of a thin polycrystalline silicon layer by direct film deposition on a carbon ribbon. Multi-ribbon pulling is the objective, with thickness under 100 microns, width of 5 cm, and pulling speed over 5 meters a minute. Preparation of wafers should use laser cutting. Conversion efficiencies of 15 % have been achieved on 4 cm^2 cells in 1983. The 1986 objective is to reach $50 \text{ cm}^2/12 \%$ cells.

Amorphous Silicon Cells

SOLEMS has been expanding its activity rapidly for the past two years. A glow discharge decomposition of silane process is used to prepare p-i-n structures on glass substrates. A lot of effort must be now devoted to production technologies, although a pilot-production line is due to begin operations in 1984. In 1983, $1 \text{ cm}^2/7\%$ cells have been prepared at the laboratory level. In 1984, $400 \text{ cm}^2/4\%$ cells are expected, and the aim is to reach $1,800 \text{ cm}^2/7\%$ cells by 1986.

Systems Integration and Test

In order to insure that specific products are designed for specific uses, an effort should be devoted to systems integration. SOLAR-FORCE is a major partner of AFME on this. This company, together with others, is developing systems, suitable for different markets : generators are designed and specified for remote power ; PV water pumps are designed for specific applications in developing countries ; refrigerators are engineered according to World Health Organization (WHO) specifications ; telecommunication systems are developed, for use in France or in developing countries.

For modules as well as for systems, the importance of test-procedures should be underlined. AFME is working in close relationship with LCIE and CNES to develop module standards and testing procedures, together with the international Electrotechnic Commission (IEC). AFME is also setting up a systems-testing network with numerous partners, the variety of which is adapted to the variety of the systems. This network should be fully operational by the end of 1984.

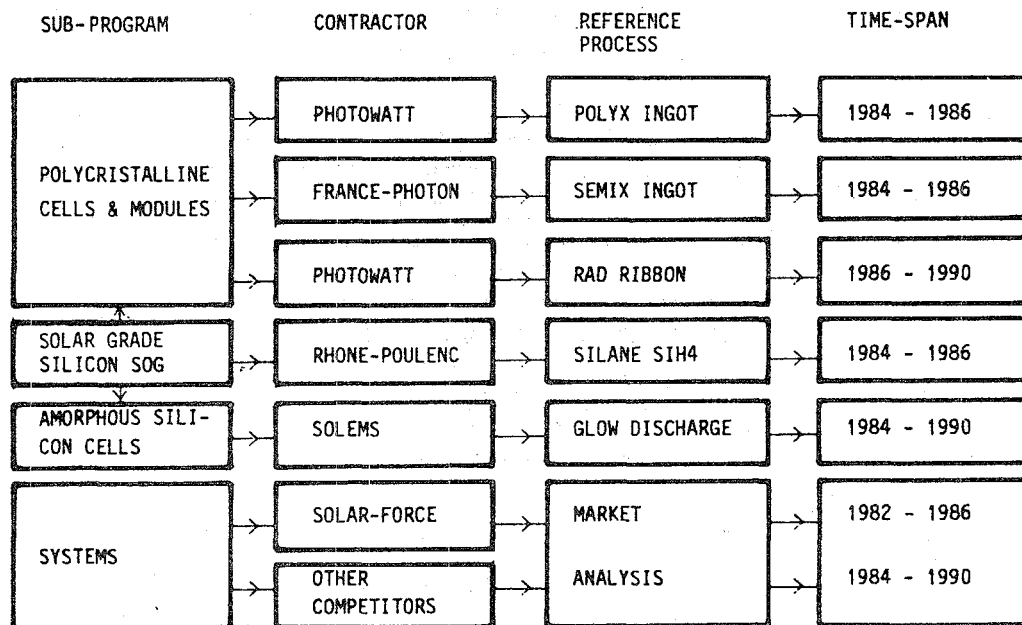


FIG. 1. FRENCH PV PROGRAM TECHNICAL AND INDUSTRIAL STRATEGY

LONG TERM RESEARCH AND DEVELOPMENT

Besides industry and the 1986 strategy, France is engaged in long-term R & D through a number of public or private laboratories, coordinated by AFME on specific subjects. It is not the purpose of this paper to go into detail over this long-term R & D program. The main features are the following : a MGS plasma refining process is under development, which could lead to a \$15/kg manufacturing cost ; cristalline silicon cells R & D involve more than 12 laboratories, dealing with impurities and defects, HEM growth, ion-implantation, laser, e-beam or light annealing, passivation, and so on ; amorphous silicon cells are studied, new deposition techniques, a-Si optical and electrical properties, a-Si alloys and multilayer cells ; advanced materials R & D is pursued, like AsGa/GaAlAs multibandgap cells, CuInSe₂, InP, CdS/CdTe, and organic semi-conductors.

All these long-term R & D actions are usually conducted by CNRS or University laboratories, under the sponsorship of AFME. More than 30 laboratories are altogether involved in this program.

PROGRAM FUNDING

Program Budget over 1982-1986

The estimated public budget appropriations needed over the 1982-1986 period amount to \$ 64 millions in 1982 money value. This budget should be covered mostly by AFME, and the Ministry for Research and Industry.

About 45 % of the total should be devoted to the industrial strategy implementation, through funding of private companies (\$ 28 millions). The other 55 % shall be devoted to the bulk of the program, mainly long-term R & D (\$ 19 millions) and demonstration/dissemination (\$ 17 millions).

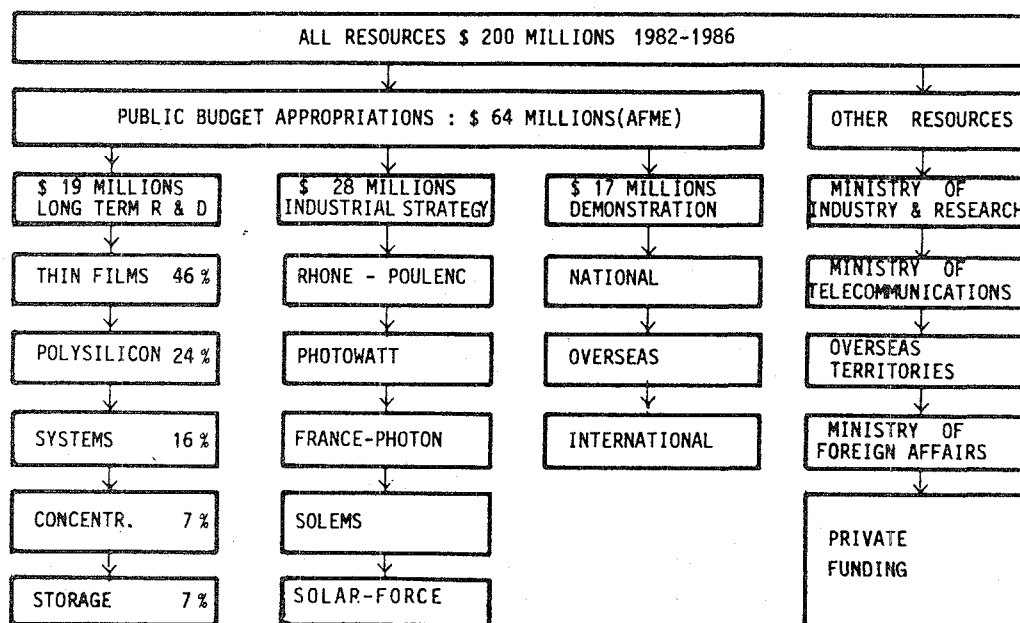


FIG. 2. FUNDING OF THE FRENCH PV PROGRAM : A 1982 - 1986 FORECAST

Taking into account all expenses, the 1982-1986 program will represent some \$ 200 millions, including all public budget appropriations and private financing. This can be said to be the price-tag for the french industry market share in 1986, as well as for the maintenance and development of french R & D expertise and capability over the long-term.

Program Budget for 1983 and 1984

of which \$ 7 millions in R & D, and \$ 3 millions for industrial policy and demonstration projects. The total AFME funding of the program should amount to \$ 12 - 13 millions in 1984.

Thus, if we look at the total expenses of AFME devoted to New and Renewable Energies, the french PV program amounts to between 40-50 % of the total. Other R & D programs include solar architecture, geothermal energy, biomass and bio-fuels, wind energy and microhydraulics.

CONCLUSION

It has been assessed by AFME and its partners that a specific effort should be devoted to promote PV technologies through demonstration programs. AFME is participating actively in the current European Pilot Projects program ; other demonstration programs include the national rural electrification program. This program has been initiated in 1983, with a total budget of \$ 1 million. It includes the installation of 40 rural PV generators ranging from 400 Wp to 1,600 Wp and over, scattered in the south of France, and the monitoring of these generators. This national campaign is aimed in particular at promoting the PV technology through demonstration on the mainland. Other programs are devoted to overseas territories and developing countries : they include water-pumping for domestic consumption and irrigation in rural areas, rural electrification in remote places, telecommunications.

Besides R & D achievements which have been mentionned before, these efforts begin to create a whole new business in the country : new entrants are developing their activities, like SNES, SOLECO, SOLELEC ; engineering companies are integrating PV design capabilities. Altogether, PV activities in France have represented a \$ 10 millions business in 1982. It is believed that PV business should contribute to create some 2,000 new jobs by 1986, according to the industrial strategy being implemented.

The first results observed encourage AFME in implementing this strategy, and they are in accordance with the overall economic objectives of the 5 years 1982-1986 program.

For further information, please contact
Louis P. DROUOT
Solar & Geothermal energy department
AFME - French Agency for Energy Management
Route des Lucioles
Sophia-Antipolis
06565 VALBONNE Cedex - FRANCE

October 25th, 1983

入手資料

1. High-Speed Silicon Ribbon Growth
by the RAD Process, European conference on Photovoltaics ATHENS '83.
2. Influence of carbon and hydrogen segregation on the electrical properties of grain boundaries in polycrystalline silicon sheet, Solar Cells, 9 (1983)
3. Continuous polycrystalline silicon layers on carbon substrates.
4. The growth of polysilicon sheets on carbon substrates by the RAD process, 157th Symp. of the Electrochemical Soc. Novel Silicon Growth Methods" Saint-Louis (May 11-16, 1980)
5. Substrate related problems in RAD Solar cells, 14 IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Jan. '80.
6. The French Photovoltaic Program : 1982-1986
Louis P. DROVOT Solar & geothermal energy division, AFME
7. New and renewable energy in industry : what future?
Louis P. DROVOT Solar & geothermal energy division, AFME
8. Experimental Photovoltaic power plant of Nice Cote D'azur International Airport.
9. AFME Report d'activite 1982
10. LES ENERGIES SOLAIRES, AFME

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ通商産業省工業技術院サンシャイン計画推進本部の許可を受けて下さい。

電話 03-434-5644～7（直通）