日本を救う芋エ 新たなエネルギービジネスの展開戦略 ネルギ

近畿大学

生物理工学部生物工学科

木 高

広

はじめに

削減に役立つと考えられている。 なに使っても大気中の♡を増やすことはないた つくり、 合成でつくられるので、 方法が知られている。 サトウキビやトウモロコシからアル 化石燃料の使用量を減らし温室効果ガスの ガソリンに混ぜて燃料として利用する 植物はもともとこから光 植物由来の燃料はどん コールを

言われる。 す。だから、 コシを燃料に使用すると砂糖や穀物の供給量が 燃料作物だ。ところが、サトウキビやトウモロ とが必要である。 した化石燃料を地上で燃やす仕組みを止めるこ O.排出量を減らすためには、 価格が高騰し新たな食糧問題を引き起こ これは方法が間違っているからであ 農作物を燃料にしてはいけないと そのための切札が畑でつくる 地下から掘り出

にして大量供給することが前提であり、むしろ、食 芋エネルギーは、 現在の芋の値段を20分の 1

> だ。 求められている。 濃度がもたらす生態系や環境への影響は未知 続けた場合、 がら暮らしている。この先、 昇し続ける大気中の⇔濃度の頂点を日々高めな 糧増産と自給率を高めることに役立つのである。 ることを図―1に示す」。 大気中のの濃度と平均気温が徐々に上昇して 化石燃料の使用を止める代替エネルギーが 地球温暖化による気象変動や高い 人類は、 化石燃料を消費し 急激に上

策がないまま、 期待された。だが、 実である。 を一蹴し、 力が化石燃料の代替エネルギーの切り札として 福島原子力発電所の事故が起こる前は、 化石燃料と原子力の問題は何も解決 日々深刻さを増しているのが現 福島原発事故はこの目論見 原子

その切札として有望なエネルギー資源の るための技術開発を求めている。 世界は、安全なエネルギー社会へとシフトす 『芋』であると筆者は考えその技術開 日本にとって 発を ーっ

0.4 0.2 0

-0.2

-0.4

-0.6

-0.8 -1

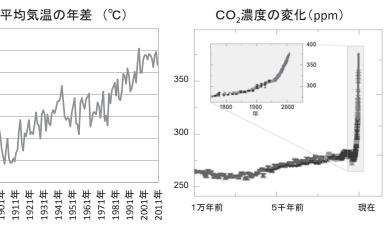
1901年 1911年 1921年

1891年

1931年

1941年 1951年 1961年

1971年



世界の平均気温と二酸化炭素濃度の変化 図-- 1 (出所) 気象庁統計情報

1 次エネルギ 消費量と芋栽培

力を 億 されるため、 と概算される。 2 0 0 0 た生芋は約5MJ 2000万円である ○ の量が増えることはない t H 代替することが可能だ。 の芋を生産すればすべての化 本 が 万町に必要な芋の 毎年必要とするエネル 芋燃料をどんなに使っても大気中 芋は大気中の♡から光合成生産 kg のエ (図 | 2) 一ネル 年間 ギ 図 ギー 生産量は40億 ーをもつため 3)° 石燃料と原子 畑 0) で収穫 全量 年間 は 40

されず、 だけを 岸海 2 0 で賄うことが可能だ。 換すれば、 注ぐ全天日 馬鈴薯と甘藷を併せても年ジャガイモ サッマイモ サッマイモ 国内の芋の生産量は、図 一ネル バギー 域 0 40 ギー 国土 まで含め 見ると途方もない が して不可能ではない。 倍量を生産する方法が求められ 億 利用でき、 t 20 土全体では年間19 「射量は 0) が毎年太陽から供給されているの の芋を生産するためには、 Ĥ 0 射エネル れば20億円を超える太陽光 1日平均 方 TJ 年間消費量 ギ 戯言のように聞こえる 0 図 エネ 1 13 間 億 丁 に 達 の1%分を芋に変 約330 H 4 元 り 1 0 本の ルギーを芋だけ 4 MJ 示すように 国 る。 する。 , m と 概 0 土に降 万 年分の t であ 工 ネ 沿 算 n 1

超えるい。 単価を5円 化石燃料を芋で代替するため 化石燃料と価格競争するためには、 在 つまり、 食 用 ㎏以下に設定することが求めら 0) 芋の卸売価は10 20 分 の 1 0) の条件 価 格 にする必 0 円 価 芋 kg n を 0

> 数年 ナム だ。日本がTPPに 引 とも現実に起こり得 東 原 が 価 南 や栄養価 料 あ キャ 推移しており、 0) ŋ アジア諸国から芋を燃料として輸入するこ 格 農家の出荷価格 レンジであ ・ッサバ 農家は猛 の低 ノは、 い芋の単価5円 反発 る。。 加盟し関税が撤廃され 海外諸国 インドネシア、 でする。 が 2 円 規格外品はさらに安価 だが、 ではデン 5 8 円 、kg は通常 夕 夕 プン لح kg でここ オ n 含 0 力 ば、 取

度であり、 高価な食用芋の国内市場規模は20 たくさん作 っても販売量が伸 0 0 びる 億 円

程

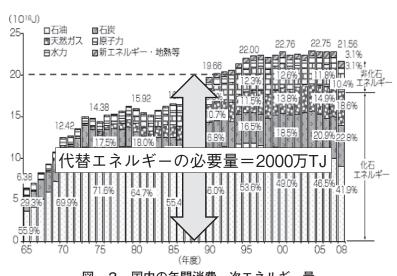
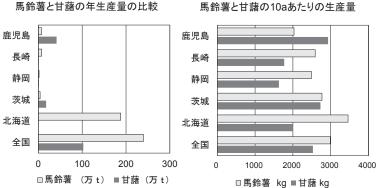


図-2 国内の年間消費一次エネルギー量 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計| を引用



CO₂からつくる芋エネルギーの炭素循環 図―3

馬鈴薯と甘藷の10aあたりの生産量



図―4 馬鈴薯と甘藷の生産状況 (出所)農林水産統計に基づき編集

能だ。 り、芋農家の大幅な収入増をもたらすことが可 を20分の1に下げても市場規模が100倍にな を芋燃料に振り向けることができるため、価格 万丁を賄えば、 燃料市場規模は20兆円を超える。芋で2000 家畜の飼料も国産で賄うことができる。さらに、 用のデンプン原料を輸入する必要がなくなる。 ㎏なら劇的に市場が拡大する。まず、食品加工 から市場が拡大しないのである。 余地は限られる。 化石燃料の輸入費用年20余兆円 だが、見方を変えると高価だ 価格が5円

には、 動化が必要であり、 エネルギー問題の解決の糸口となるのである。 にする栽培システムを開発することが、 つまり、 も、市場の拡大と農家の増収が前提条件となる。 ·価

5円の

芋で

国内の

平均賃金

並に

稼ぐため 生産能力を飛躍的に高める技術開発と自 国内で大量の農作物の連続生産を可能 技術開発と設備投資を促すために 人手の単純作業でこなせる 農業と

2 日本のエネルギー消費量と 植物光合成のエネルギー固定能力

物等のバイオマス資源は年間数億t程度であ だが、資源エネルギー庁の調査では全国の廃棄 利用は資源の節約には役立つが、 有効利用するための技術開発を想定してきた。 や稲わら、 数%前後であると概算される。 来のバイオマス資源は、森林の間伐材や草 これで賄えるエネルギー量は年間消費量 農産廃棄物や藻などの未利用資源を エネルギー問 つまり廃棄物

> 題 の根本的な解決は不可能である。

には理由がある。 増加量は年間8000万t程度と言われる。 る200万丁にすぎない。 のエネルギー量は年間必要量の10%程度にあた れがすべて乾燥バイオマスだと仮定しても、そ 一方、国土の7割を占める森林のバイオマス 森林の増加量の低さ

り、エネルギー生産にもの削減にも役立ってい り、炭素の酸化量と還元量が釣り合うカーボン ないのが現状なのである。 分はこのような高齢森林地や管理放棄地であ ニュートラルの状態になる。 森林全体のの固定能力はほぼゼロとなる。 微生物が酸化分解しピを排出するため、高齢の オマス量が定常状態となる。朽ちた枝葉は土壌 を落としつつ成長を繰り返すため、 森林は樹齢が50年を超えると毎年枯れ 国土の森林の大部 全体のバイ 枝 つま や葉

で生計を賄う事業を、 をささえるために必要な燃料は、ごみや廃棄物 事業形態が一般的だ。だが、 低コストで集めバイオマス発電に用いるという と想定していることである。例えば、廃棄物を 棄物や未利用資源を対象として考えてきたた 立することが必要だ。 本のエネルギー全量を確保することは到底不可 量生産しなければ化石燃料依存から脱却し、 で賄えるほど微量ではない。燃料は積極的に大 め、バイオマス資源の単価がゼロやマイナスだ 能である。燃料作物を大量生産し販売すること 従来のバイオマス研究の根本的な問題は、 では、 エネルギー産業として確 どのような燃料作 国家の産業と生活 Н 廃

年間の芋の生産量3㎏

/ mのうち、

水分を除

グルコース180g/㎡を合成できる計算だ。 ルギー変換効率が33%なら144分の日照光で たり3600

kJ/ nにあたる。

光合成のエネ

てみよう。 物の生産方法が国内生産に適するのかを考察

エネルギーは次式で与えられる 国土の単位面積あたり1年 13 • MJ/m(全天日射量平均

国土全体では、

4 9 0 MJ m² ×3780

れる。

899 とし、理想状態では8642月の可視光から2 り注いでいると試算される。これに対し、 費があるため、糖質エネルギーをロスする。 そして、植物体の生命活動によるエネルギー消 したがって最大効率は33%と見積もられる三。 874 灯のグルコース180gを生成する110。 子の合成に48photonsの光量子数を必要 植物は3%、最適条件下でも6%程度だと言わ 作物で4%、 は、一般にトウモロコシやサトウキビなどのC4 の光合成による太陽光エネルギーの変換効率 ルギー2000万丁の100倍量が1年間に降 となる。 に優れた植物品種が燃料用作物に適する。 たがって呼吸消費率が低く、エネルギー貯蔵力 晴天の日の照射エネルギー1㎞は、 植物の光合成はぴからグルコース1 沿岸海域まで含めれば、 ジャガイモや小麦、イネなどの〇 18億5000万 年間消費エネ 1時間 植物 分

4

間は13hで足りる。 できることが理論的に導かれる図。 で利用率を上げると、大量のバイオマスを生産 周囲からも太陽光を集め多層棚に照射すること 段が多層栽培法で、空間的に受光面を拡張し、 ことが可能であると推察できる。その一つの手 すると、 でいるのである。つまり、光の利用方法を工夫 1年分の芋を生産できるエネルギーが降り注い ルコースだと仮定すると、生産に要する晴天時 た固形分は25%~35%に留まるため、 が固形分の年間生産量である。これを全部グ 畑の生産量を今の数十倍程度に高める 初夏の1日余の日照光で、 約 1

積あたりの年間固定エネルギー量は し短時間で繰り返し連続生産する手法である。 日本に適する大量栽培方法は、鉛直方向に積層 物栽培を妨げる主要因は耕作地の面積であり、 することができる。したがって、日本の燃料作 農家がいないのと同じように、光は集めて利用 育条件下でも国内で十分な光量を確保できる。 不可欠な要素のうち光と水は収集場所と供給場 ることも理論的には可能だ。だが、芋の栽培に することで利用できる光の波長帯を広げたりす 波長に変換したり、光合成分子を人工的に改造 的に変換し、 の低い緑色や黄色の波長帯の光や紫外線を人為 光合成の変換効率を高めるためには、 太陽光の変換効率6%で植物栽培すると、 一致する必要がないため、現在の自然の生 田んぼに降る雨だけで稲作をしている 光合成に利用できる赤色や青色の 利用率 面

> ㎏/㎡、図―4)の約20倍の収量が見込まれる。 と与えられる。5M 。 ㎡となるため、 現在の生産量(甘藷=2・5 /㎏の芋に換算すると48

になっており、 0W/㎡付近にある®。 だが、強い光は使いきれない。光がこれ以上強 ジャガイモは光合成を行い生長する(図―6)。 こり、屋外の5~10%程度の明るさの室内でも 段階的に進み、光の利用速度は日射速度よりも ができるにも関わらず三、 和点とよび、3型の芋の飽和点は200~25 くても光合成速度が増大しない光の強度を光飽 は快晴時の1%の照度にあたる10W/㎡でも起 分を利用することができない。芋の光合成反応 極めて遅い。このため、単層栽培では光の大部 植物の葉の光合成反応は図―5に示すように / ㎡の太陽光の9%程度を葉が吸収すること 快晴時の光を4~5分割しても つまり、快晴の日の1 光の75~80%が無駄

kW

培である(図―7)。多層化すると単層あたり 作物である(図―6)。 作物が適し、芋はこのような弱光栽培に適した は多分割した弱い光でも効率的に光合成を行う の光量の低下は避けられないため、多層栽培で 芋は十分に育つと予測できる。すなわち多層栽

0MJ らの反射光も含む360度の全空間分散光を利 位面積あたり100㎏/㎡ 数値以上の光を利用することも可能である。 0度の光量を測定しているため、全天日射量の 庁の測定する全天日射量は水平面から上側18 用して光合成を行うことができる。一方、 ―7に示すように芋を多層栽培することで、 このような事情を考慮すると、 多層栽培した芋の葉は、水平面よりも下側 mį 全国平均の40倍の生産量) (エネルギー量50 畑の上でも図 程度まで 単

芋の生産量を高めることも可能であると見込む。



光

NADP

ADP.

CO₂還元

・ショ糖・澱粉

CO₂

 H_2O

ATF

NADPH

光エネルギー反応と CO。固定の概要

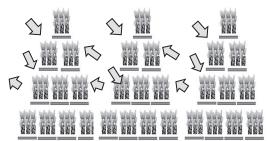
6 北面室内散乱光での芋の栽培試験



m × 0 ⋅ 06 = 2 4 0

MJ m²

太陽光を無駄なく空間利用



7 芋の多層栽培システムの概要図

万町の生産に必要な芋の栽培エリアの の条件下で、 2000万TJ÷500MJ/㎡ 玉 内の全エネルギー20 総面 積は 0

4

れる。 を芋燃料の生産費用に充当することができ、農 村部にエネルギー産業を普及することが期待さ る。そして、化石燃料の輸入を停止することで、 入も原子力発電所も全停止することが可能であ エネルギーを毎年国内で生産し、化石燃料の輸 を光合成効率10%で芋に変換すれば、 年間消費エネルギーの10年分に相当する太陽光 と概算される。 海外に支払っている輸入コスト20余兆円 国土の約11%である。 400億㎡(=4 0 日本の全 つまり、 0 万 ha

0 産物や畜産物の年間総出荷額は8・2兆円 表—1 4 6 0 年農林水産統計) 万 は国内農地の概要を示す。 ha あり、 この農地で生産している農 である。これに対し、 日 本の農地 $\widehat{2}$

①耕作放棄地 ②転作・調整田(①と重複あり) 数十万? ③休耕地·低利用地 (農林水産統計値に基づき、著者が分析した値)

(うち,主食用稲作水田)

日本の耕地面積の現況

面積 (ha)

250万

(160万)

210万

40万

90万

- 1

(2) 畑地・牧草地

(1) 田

用 途

現 況

> ことが求められる。 性は2・5倍に向上すると試算される。 が20分の1の燃料芋を生産しても、 料芋の出荷額は20兆円を見込む。 の一般農作物の生産効率も、 栽培に利用することが望ましい。また、芋以外 の遊休地や放棄森林などを開墾し、 るためには、まずは耕作放棄地や極貧農地など る。戦略的に芋エネルギー産業を国内で普及す 存度が増し、食糧自給率低下の問題が深刻化す 樹などの生産が妨げられ、一般農産物の輸入依 400万㎞を芋栽培が占めると稲作や野菜や果 0 方 ha で2000万円を生産した場合 芋と同様に高める 燃料用の芋 農地の収益 だが、 単価 の燃

らの太陽光を集めれば、 間5カ月に過ぎず、 報告されているが、実際には稲作田250 システムの導入も容易となる。 万ねまで縮小することも技術的には可能であ 配照射することで、燃料芋の栽培面積を100 で太陽光が利用されずに放棄されている。 なすことができる。 る転作地等となっており、 であり、 のうち主食米を生産している水田は160 耕作放棄地は農林水産省の調査では 単位面積の生産性を高めることで自動栽培 残りの90万hは放棄地や減反政 また、水田の稲作期間は年 残りの期間はほとんどの田 栽培棚を積層し光を分 実質的な遊休地とみ 40 気策によ 万 方 ha ha Ł 万

れた古森林は①吸収力がほとんどない。 にも莫大に存在する。 芋エネルギー生産に適する場所は、 林業は深刻な経済不況にあり、 国土の7割を占める森林 放棄さ これら **医地以外**

> もふんだんにある。芋の大量栽培には大量の 森林を伐採すれば、 の森林に照射する太陽光を集光利用したり、 水と土砂崩れを防ぐ役割を果たすことも期 水が必要なため、森林の地肌よりも効果的に治 芋燃料の栽培場所も太陽光 古 雨

芋の栽培方法を工夫すれば、 が可能となる。 ギーを賄う燃料作物事業を地方に勃興すること が国には1年間に1200年分のエネルギーが 国土の12倍の広さがある領海域も含めれ うための芋の生産場所も太陽光も豊富にある。 太陽から毎年届けられているのが実態である。 このように、 国内には全消費エネルギーを賄 国内の全エネル ば、

3 燃料作物の栽培適性

収量を2倍程度に高めることが、 とはできない。芋の量産を妨げている要因も価 の1に引き下げなければ化石燃料と競争するこ ための最大の課題は価格だ。表―2は、 を無駄にすることなく効率的に芋を空間栽培す 面積で栽培するためには、太陽光のエネルギー なくてもよい燃料芋は、 産しようとしない。品質や形状をあまり考慮し 格であり、農家は豊作貧乏を怖れ作物を大量生 ㎏前後であり、燃料用途の芋はこの価格を20分 イオマスのエネルギー単価を化石燃料と比較 ることが不可欠である。燃料作物を実用 国内で2000万丁分の燃料作物を限られ 現在の食用の芋の市場出荷額は100 通常の露地栽培法でも 本当は容易な

表―2 ハイオ燃料の経済性概算比較値						
	年間供給量 (目標)		比熱量 (MJ/kg)	燃料価格 (円/kg)	エネルギ単価 (円/MJ)	発電単価 (円/kWh)
乾燥芋チップ	13億い	2000万TJ	15	15	1	10
木質チップ (輸入)	100万トン	1.8万TJ	18	18	1	10
木質チップ (国産)	3000万トン	54万TJ	18	25	1.4	14
草・稲わら アルコール	100万トン	3.4万TJ	28	96	3.4	34
藻燃料	1万トン	0.02万TJ	20	1000	50	500
化石燃料						
石油	2.2億トン	990万TJ	45	60	1.3	13.3
石炭	1.8億トン	490万TJ	27	20	0.7	7.4
天然ガス	7千万トン	390万TJ	55	45	0.8	8.2

度を高め年間の生産量を増やすしか方法はな

鉛直方向に栽培空間を増やすとともに、栽培速

狭い空間の生産量を20倍に高めるためには

間で達成する必要がある。広大な土地はないた 低下するためには、20倍の生産量を同じ作業時 収目標は低いが、途上国の農民よりも格段に高

日本の農業従事者は他の製造業に比べれば年

の1の芋を生産しているのである。

かれているため、限られた耕作地で単価が20分 の1~100分の1程度に留まる社会環境に置

い。したがって、作物単価を現在の20分の1に

のであ 芋の生産量は栽培方法とともに、 次の式で与

·間生産量

えられる経済性にも支配されている。

いることで、一人あたりの生産量を高めること も広大な農地で大型のトラクターや収穫機を用 は、トウモロコシやサトウキビの単価が安くて やブラジルがバイオアルコールを生産できるの 物の生産量を支配する最大の要因である。米国 売価がほぼ一定の場合は、年収目標値が農作 -収目標 (円/年):作物売価 円 kg

ができるからである。

技術開発である。 トラクターによる水平軸の生産性の改良手段が 国内でも農地を集約し大規模化すれば、 大型

鉛直軸と時間軸に対する生産量を高めるための い。つまり、日本の農業が選択すべき手段は、

るため、日本の農業問題をさらに深刻化させる。 ることは、大量の失業者を生みだすリスクがあ 作地と売上げのシェアを一部の資本家に集中す 有効だという考え方もある。だが、限られた耕

東南アジア諸国から単価5円/㎏の芋が国内に 競争力を失い、壊滅的な打撃を受けることが予 れば、燃料だけでなく食用農産物も国内市場で 業は数倍~20倍の生産効率の向上を達成しなけ は燃料として実現可能な水準にある。日本の農 流入することが予測される。 日本がTPPに加盟し関税が撤廃されると、 国際的な芋の価格

測される。

国だ。極貧途上国は、

年収目標が先進国の10分

㎏で実際に供給できる国々がある。 発展途上

方、広大な面積がなくとも作物単価が5円

ことになる国益が天秤にかけられているのが現 状である。 相手国関税により工業製品の輸出競争力を失う 倍に達すると概算される。国内農家の保護と、 額はTPPに加盟した場合の農業の損失額の数 業製品が海外製品との競争力を失うため、 方、TPPに加盟しない場合は、 日本の工

①生育環境が、日本全国の気候で栽培に適した 物として適する理由は左記のように列挙される。 以上の現況を背景として、芋が日本の燃料作

②弱い光でも生長速度が速く、 い作物 光合成効率の高

④燃料物質の貯蔵能力が高い作物 ③背丈が低く、多層栽培に適した小型作 物

⑤栽培と収穫作業が容易な作物

⑥化石燃料と燃料価格競争できる生産コストで

⑧国内で2000万町分のバイオマスを生産 ⑦農家の労働効率と経済性を高める作物 栽培できる作物

各項目について補足する。

能な作物

○の固定速度を高めるために、○の濃縮経路を 射光のある地域で強い光を無駄にすることなく る。CA型の植物は、熱帯のように高温で強い日 スの水中の溶存濃度は高温になるほど低下す コシやサトウキビは、C4型の植物である。 遺伝的に獲得した植物である。 米国やブラジルで栽培されているトウモロ 温帯湿潤気候で CO:

水産統計値も示す。 鹿児島では沖縄よりも30%低下することを農林い。耕地面積あたりのサトウキビの収穫量は、の照射時間は短く、42型植物の生育には適さなの照射時間は短く、4型植物の生育には適さな

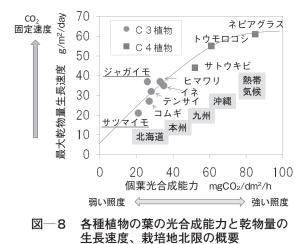
は 1 kg の エ は困難である。 ロコシが大型トラクターでの大量収穫作業など 栽培面積が膨大な米国では、 日本の耕作収量 トウモロコシの澱粉は食味が良いため用途が広 大量に栽培されているのには別の理由 期待年収を満たす生産量を高められるのであ 熱帯地域ではない北米大陸 だが、 ウキビもト したがっ 程の低コスト化に適するため、 m程度 コーン顆粒の単位面積あたりの収量 て、 ゥ (農林水産統計) と同等である。 (米国農業生産統計) であり、 日本の狭い国土では、 モ ロコシも大量栽培すること 背丈の高いトウモ でトウモ 一人あたり がある。 口 C4 型 の ーコシが

やジャ も全国各地でさほど大差がない。 生産量は、 ンド化による影響がある。 海道が主な産地であるが、 の甘藷は鹿児島、 C3型作物である 全国栽培に適する作物 好ましいことが分かる。 \mathbb{H} ガイモなどの馬鈴薯やサツマイ 本全国で万遍なく栽培でき、 図―4右に示すように甘藷も馬鈴薯 ジャガイモなどの馬鈴薯は北 (図 8)° は、 これには商品のブラ 実際の面積あたりの 甘 サツマイモなど 諸や馬鈴薯など つまり、 - モ等の 燃料作 男爵

室作物などよりも遅いが、弱い光でも効率よく② 図―8に示したように芋の光合成速度はG

つまり、 合、 3 間栽培法で光を弱めても収率の高い作物が日 することができる。 面に配置することもできる。 する甘藷は葉面を南向けに配置 能力の高い作物が望まれる。 層程度の多段栽培棚を使用すると仮定する場 0 散しても、良好に生育することが予測され に屋外の5%~10%程度の照度の室内でも 光合成を行うことができるため、 大量栽培に適する。 草丈はできるかぎり低く弱い光でも光合成 太陽光を分割し利用する多層栽培では、 植物は強い光は使いきれないため、 したがって多層棚で光を分 それが芋なのである。 蔓を伸ばして生長 Ļ 一述したよう 土壌層を北 る。 5 空 本

官を有せず、栽培空間の利用効率を高めること④(芋は、地上部には葉の日照を妨げる組織器



(出所) 文献11を参考に編集

が容易となる。

力も強 (5) 栽培にも適する。 燥しすぎないように水を供給するだけでよいた 北海道まで万遍なく栽培されており、 源として栽培されている語。 し木のように植えて、日照りが続くときには乾 せていても栽培でき、 繰り返し栽培も栽培管理も容易である。 芋は水はけのよい 容器栽培は雑草の繁茂を抑えるため 栽培法も簡便である。 、火山 世界中で貴重な食糧資 灰の土壌や、 日本では 甘藷は蔓を挿 環境適 沖縄 シ無農薬 から 地 ま

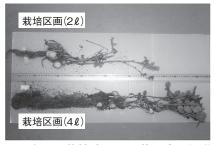
季が高速栽培に最適な季節となる。 栽培法であるため、水分調節を怠らなければ夏も芋の生長が影響されるが草、多層栽培は管理長する。ジャガイモは水分が多くても少なくて長する。ジャガイモは水分が多くても少なくて

ある。 ⑥ エネルギーの種類が変わっても単価はこれ ⑥ エネルギーの種類が変わっても単価はこれ

00 円/kg $\times 20$ kg/ ㎡ 参入を刺激する。 高い収益事業を実証することで、 るため20 欠となる。 ることで国際競争力を高めることが期待され 削減が進み、 や播種を伴う多層栽培システムの導入が不可 高生 産性を維持するためには、 食用芋は約100 0 芋の量産化により単価を引き下 ㎡の年出荷額は400万円 栽培設備は量産化によりコス × 2 0 0 0 Ě 全国の農家の kg で出荷 m² 連続 を見込む。 的 でき な収

区画サイズ 8 cm×10 cm 125区画/m²

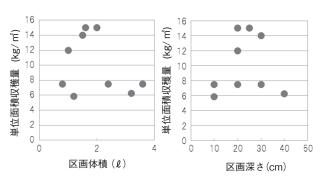
図 -9 サツマイモの区画栽培の様子



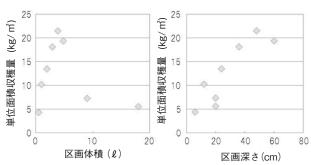
小区画栽培法による芋の生長促進効果 図-10



ミニ区画栽培と市販の芋の比較 **-11**



区画栽培法によるジャガイモ(男爵)の生産量 に対する容器の形状の影響



区画栽培法によるサツマイモ(紅あずま)の 生産量に対する容器の形状の影響

4 多層大量栽培システムの開発

合には、

芋の成長が促進され6週間で最大サイ

土壌4ℓの場合は根の成長が促

ズに達したが、

進されたものの芋は小さいままに留まって

4 1 芋の区画栽培実験

男爵)、サツマイモ(紅あずま)の栽培を行 うに苗の栽培空間を区画により制限する方法 照下で区画栽培実験を行った。 成長速度が変化することを見出した。 影響を比較した。芋はジャガイモ(メークイン、 たところ、いずれも土壌体積に依存して、 室内の弱光栽培の実験結果に基づき屋外の日 根部の栽培空間の形状が芋の生育に与える 図―9に示すよ 芋の

8

を進めている。

であり、

万町のエネルギー生産に必要な芋の量は40億

これを国内で栽培するための技術開発

以上の日本の状況を背景として、

じく4倍)

とすることで、年収維持を見込む。 と自動化により作業面積を80a(同

産の5倍)

なった段階では生産性を100

kg m²

(食用生

を進めることが求められる。

単価が5円/kgに

品種等の改良

ために、

設備の改良と栽培土壌、

徐々に単価を下げても年収目標を確保する

の男爵の成長度の差異を示した。土壌2ℓの場 図―10に土壌体積が2ℓの場合と4ℓの場合

> さな芋を短期間で生産できることが明らかと 栽培法では根部の成長空間を制限することで小 る。 の男爵と比較した写真を図―11に示した。 また、 区画栽培法で栽培した男爵を、 市販 区 画

それぞれ、 を示し、図―13は紅あずまの栽培結果を示す。 た栽培実験を行った。 これらの結果に基づき、 土壌区画の水平面 図―12は男爵の栽培結果 区画の大きさを変え 一の面積に対する生

産した芋の量、 土壌層の深さに対する芋の量を

ことが分かった。ときに単位面積あたりの芋の収量が最大になるずまは土壌層の体積が4ℓで深さが50㎝程度の深さが25㎝程度のときに生産量が増大し、紅あ示す。その結果、男爵は土壌層の体積が2ℓで

の収量を高めることが可能である。
ここでは、水平面の面積あたりの収量を高めることが可能である。
いて生産量が増大する結果となった。単層栽培いて生産量が増大する結果となった。単層栽培がずれにしても、土壌体積を制限するストレスはがれにしても、土壌体積を制限するストレスにずれにしても、土壌体積を制限するストレスの収量を高めることが可能である。

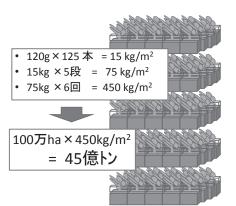
2 ジャガイモの多層栽培実験

4

イモの大量生産方法を検討した。図―14に示以上の実験結果に基づき多層栽培によるジャ



れる。 この生産方法を100万ねで実現したと仮定す に生育が認められた。一区画で120gの芋が 9 8 klx 最上段が115kxのときに、 すように3段棚の中断と下段に区画容器を設置 せると固形分の乾燥重量は12億t程度と見込ま ると45億 t の芋の生産量を見込むことができる。 れば450kg しており、 培期間は最短で6週間で芋のサイズが最大に達 には、75㎏/㎡の収量が期待される。 すると図―15に示すように一段あたり15㎏ 生産できることが分かり、 kxと最上段の10%以下の照度となったが、 し男爵芋の栽培を行った。 有率が80%程度あるが、 に相当する。仮にこの条件で5段栽培した場合 ジャガイモを40億1生産した場合、 また乾燥重量1㎏のエネルギー保持量は 9 3 klx 年間6回栽培を繰り返すことができ / ㎡の収量が見込まれる。 さらに 下段は8・5kk 茎や葉の固形分も合わ 区間の面積から換算 照度を測定すると、 中段の日陰部分は また、栽 水分の含 7 . 8 良好 m²



図―15 5段栽培6期作による芋の 大量生産法

在する水田の面積の2倍程度であり、手の届くを達成する。実際には5段栽培では下層に光をも必要となる。また作業スペースなどを考慮すると300万㎞~400万㎞の面積が実際にはると300万㎞~400万㎞の面積が実際にはると300万㎞~400万㎞のでも全国に点め、であると考えられるが、それでも全国に点め、のであると考えられるが、それでも全国に点が要があることが見込まれるため、全体のエネルの要であると考えられるが、それでも全国に点が表します。

3 サツマイモの三角棚栽培実験

現実的な数字である。

ら120gの生産量の場合、収穫本数は年間生産量は720tが必要となる。1本の苗か合、個人の年収目標値を360万円に設定すると、相の正とが分かった。だが、単価が5円/㎏の場単位面積あたりの芋の栽培量を飛躍的に高めらジャガイモの区画多層栽培法を用いることでジャガイモの区画多層栽培法を用いることで

1800h×3600=648万秒 0h×12カ月)の場合、全作業時間(秒)は 一方、年間の作業時間が1800h(=15

画の生産量を高めるために新たに三角棚を用い穫量を高めることが必要となる。そこで、1区とができないことが分かる。機械化したとしてとができないことが分かる。機械化したとして機械化しなければ目標の大量生産を実現することがスで、年間を通し芋の収穫作業を続けることがスで、年間を通し芋の収穫作業を続けることがスで、年間を通し芋の収穫作業を続けることがと与えられる。つまり、ほぼ毎秒1本の収穫ペーと与えられる。つまり、ほぼ毎秒1本の収穫ペー

た栽培方法を検討した。

置高さの影響を解析した。 下げて栽培を行い、土壌体積の影響と容器の設 段に積層し1㎡あたり100~150袋を吊り 三角棚に吊り下げて栽培を行った。栽培袋は5 4 ℓ入れ、サツマイモ(紅あずま) 物袋として使用されるポリ袋に土を2ℓ~ 16に三角棚栽培システムの写真を示す。 の苗を植え、

なっている。 が分かる。 角棚の下段は十分な日照が得られていないこと 段は下段よりも生産量が2倍となっており、 を東西に向けて栽培を行った場合には、 その結果、 土壌体積が少ないと芋の生産量も限定的と 図―17に示すように栽培棚の壁面 土壌体積は4ℓ程度必要であ 棚の上

袋あたり300g~500gを生産するこ た芋の外観である。 18は南面に向けて袋栽培を行った場合に 南面に向けた場合に

> とができ、芋の大きさも食用として出荷 可 能

り返し栽培すれば、 とができ、今後さらに収量を高め年間を通し繰 ムを開発中である。 ど困難ではなく、 なる。これらの技術課題を克服することはさほ 最適分配したりするシステムの開発も不可欠と 分配照射したり、栽培フェーズとともに光量を を得た。多段栽培棚では各棚に均等に太陽光を 燃料の栽培が実現可能であると予測できる結果 倍の生産量にあたる25㎏ 以上のように三角棚栽培では露地栽培 現在、 国内の全エネルギー分の芋 安価な多層栽培システ /㎡の収量を見込むこ

乾燥芋の燃焼発電実験

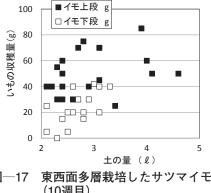
5

19)。水分率が10 モを薄いチップに切断したのち乾燥した 芋の燃料化のために、 ~15%程度まで乾燥した芋チッ ジャガイモとサツマイ (図 |

> 試作し、発電できることを実証した。 農家の燃料事業の収益性を高めるための技術 房や給湯とのコジェネレーションの方法などを の改善や芋の乾燥工程への余熱の利用、 ターで発電する1W出力の実験機 動する方式で発電を行う1㎞出力の実験機 検討することでエネルギーの利用効率を高め、 の燃焼熱を利用してスターリングエンジンを ながら燃やすと激しく燃焼する。 20)と、蒸気ボイラーでピストンを駆動しモ そのままでは燃えにくいが、 (図 | 温度を高 温室暖 21 **図**

する屑芋を燃料に転用することから取組めば設 層栽培法を普及し収益性を高め、 のバイオマスも利用できることは言うまでもな イオマス燃料が溢れている。 乾燥した芋を燃やす発電システムは、 農産廃棄物や竹林など、 まずは食用芋の多 農家の周りにはバ 付随して発生

発を目指す。



(近畿大学和歌山キャンパス

1号館屋上)

(10週目)



南面栽培したサツマイモ -18 (15週目)



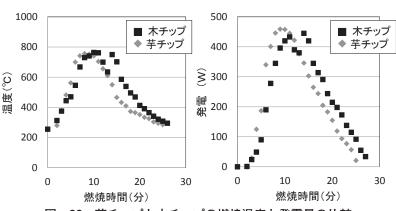
ジャガイモ サツマイモ -19 乾燥芋チップ燃料



図 21 芋チッ プ燃料による蒸気駆動式発電試作機 協力:㈱シルバーロイ販売(大阪府大東市)



図--20 プ燃料スタ リングエンジン発電機 協力:(株)岡崎(大阪府堺市)



芋チップと木チップの燃焼温度と発電量の比較 図--22

様に燃焼できることを示 らかとなった。 きる。 備投資の

得られ プが11 発電所において木屑と同 同様に燃焼することが明 度を高めることで木屑と する芋チップでも、 が 般に木屑の燃料は水分率 芋チップは木屑チップの 両者とも大差なく温度と ずつ燃焼した。その結果、 18%の状態のものを3㎏ ぞれ水分含有率は芋チッ 較した結果を示す。 度と発電出力の変化を比 ターリングエンジン式発 市販の木屑チッ 分が含まれているが 発電量の96%分の出力が 発電量が推移しており、 電機で燃焼し、 ニンなどの高カロリー成 図| 20 デンプンを主成 % た。 % 22 は、 5 30%と高 木屑チップが 木屑にはリグ 芋チップと 炉内 大型火力 ブ をス 乾燥 1の温 分と 11 た

> じさせる。 誕も元禄11年。

栽培方法を普及したことで著名な青木昆陽の生

日本を救う芋の歴史の起点を感

代に飢饉から人々を救うために、

て栽培に成功した地と云われる。

また、

江戸時

日本で初

8

サツマイモ

0

サツマイモを琉球王から取り寄せ、

種子島は、

1698年

(元禄11年)

3月に

それぞれフィールド試験と技術の普及に取組

るかどうか実証するために、平成24年は鈴

江田島 (広島)、

種子島

(鹿児島

畑地でこのような多層栽培を行うことがで

リスクも低減で

6

で行った。 種子島高校には生物生産科と電気科があ 実験に取り組んでもらう教育プログラムを共同 培実験に挑んでもらうとともに、 属農場で高校生たちにサツマイモの空間大量栽 た同校から問い合わせがあり、 道などで芋エネルギーの研究開発に興味をも 業や電気作業技術の教育も行っている。 イモ栽培は今も主要産業の 同島ではサツマイモをカライモと呼び、 つである。 種子島高校の附 電気科で発電 T ŋ, 島内 力 農 報 0)

よって電動 電機を用いて乾燥芋チップで発電した電気に 角棚を組立てたのち、 る実習を行った。その後、 成功した 平成24年6月に同校を訪れ、 スクーターを充電し、 (図 |-| | 24 カライモの苗を植え付け 8月末には蒸気式発 図 走行実験を行 23に示す三

種子島は445㎞ の面積があり、 標高の最 高

フィールド試験と普及活動

土地改良 281号

適する。 50 kg 電力を賄っているが、 果を踏まえ、 収穫際を行っ 培装置の試作や、 ブレッジ) 概算される。 で島の年間電力を賄うための芋を生産できると 面積は10㎞となる。 要な芋の量は年間50万tと概算される。 力のディー 点は282 た芋事業化試験に取組み、 鹿市では中小企業グループ 、年の生産技術を確立すれば、必要な栽培 人口3万3000人が暮らし、 が中心となり、 ゼル発電所が島内に2カ所あり島 mと島全体 手の届く現実の技術である。 発電技術の改良など事業化計 (図 |-| 25 | ° 市民にも呼び掛けて苗植えや つまり、 この電力を補うために必 がなだらかで芋の栽培に 同市内の休耕地を利 1 年間 島の約2%の面積 回転式三角棚栽 (鈴鹿ブレイン この活動 1 の成 画を $m^{\!\!\!\!2}$

めのフィー 出展などのイベントが行われた このように各地で収益事業として普及するた っている。 田島でも同様の試みが個 栽培棚試験や江田島フェスティ ルド試験に取組まれており、これら 事業化が検討されているとこ 人グル **図** 1 バ 26 プで企画 ル 0)

電力会社の発電所に燃料として販売するには、

タービンを回転させて発電する。だが、

題がある。

電力会社は、

大量の芋を毎年安定

大量の芋をつくって燃やす。

この熱で蒸気を沸

火力発電所で燃やしている石炭の代わりに、

戸別芋発電の仕組み

種子島高校における芋発電による -24 電動バイク走行実験



図-23 種子島高校(鹿児島)における三角棚芋栽培 実習(左)と校舎脇に並べた芋の棚(右)



(広島) における 図-26 江田島 芋栽培(上)と発電実験(下) 協力:峰商事合同会社(江田島) 矩義所建築有限会社 (岐阜県本巣市)



図-25 鈴鹿市 (三重) における休耕地を利用した芋生産実験と 回転式栽培棚

協力:鈴鹿ブレインビレッジ

とが容易になる。 上げられれば、大量栽培システムを普及するこ ことだ。芋を売らなくても電気を売って収益を れば良いのか。戸別の小型芋発電機を普及する 芋発電の仕組みを実現できない。では、どうす しない。両者の言い分を聞いていると、永遠に てくれることが前提でなければ芋をつくろうと 供給することを求める。一方、農家は買い取

えないものばかりだ。 オマスエネルギーの技術も言動も、無責任で使 ぎてまったく利益を生み出さない。ペルチェ素 基盤をつくろうという信念がない者たちのバイ てまったく売電事業になりえない。農家の生活 熱式発電も試したが、やはり発電効率が低すぎ 子発電やスターリングエンジン式発電などの外 の学者や研究者は考えるが、蒸留コストが高す 芋からアルコールを生産すればよいとほとんど のようにノズルから噴射することもできない。 高められるが、 益性が見込めない。 は規模が小さくなると発電効率が落ちるため収 ところが、蒸気タービン方式の発電システム 固形の芋はガソリンや天然ガス エンジン式なら発電効率を

通しがある。 給熱システムの開発に取組んでおり、 在、この収益性の高い安価な戸別普及型発電・ 別の芋発電収益事業の方法は残されている。現 う大きな利点がある。この利点に着目すれば戸 方、小型発電機には廃熱を利用できるとい 明るい見

おわりに

ら、 テムの開発と普及を進めていく計画である。 るほど大量生産が可能であることを実証しなが みがつく。そして、国産芋でエネルギーを賄え む計画である。目標収量を露地栽培の10倍程度 培する三角棚栽培システムの実用化試験に取組 がある。今春から大学の近くの畑で芋を大量栽 ばらなくても農作業ができるという大きな利占 が高収益をもたらすことを実証すれば普及に弾 誕生させる狙いだ。食用芋の大量栽培システム できる。まずは、食用芋の大量生産で芋長者を に抑えれば、食用の単価で出荷できる芋も栽培 多層棚を用いた栽培方法は、 戸別の発電・給熱コジェネレーションシス 地面にはい うく

本中を埋め尽くす。 ギー問題を深刻化するほど消費量が増えたよう に、芋エネルギー農家の小さな点を増やして日 の鍵である。 自家用車が日本中を走るようになってエネル これが芋燃料ビジネス実現

4) 池鯉鮒悟:「国内の日射量について」太陽エネルギー学3) 農林水産省HP:作物統計1) 気象庁HP:気象統計情報

6)農畜産業推進機構HP:インドネシア、タイ、5)日本いも類研究会HP:いも類統計データ 会誌 (38(5), p49-54, 2012)

7) 資源エネルギー庁:「バイオマスエネルギー利用の現状 におけるキャッサバ国内価格の推移 ベトナム

9) 近藤始彦:「光合成と作物」(J. Jpn.Inst. Energy, 89(2)8) 佐藤しんりHP:太陽光エネルギーの利用とその限界 について」(平成21年2月)

p172-178, 2010)

89(1), p60-66, 2010) 上野修:「光合成のメカニズム」 (J. Jpn. Inst. Energy 横田明穂HP:光合成におけるエネルギー生産について

11) 10)

12) 鈴木高広:「芋の遊休地多層連続大量生産による国内全 幌大会講演要旨集(p184-185) エネルギー代替構想」日本生物環境工学会2011年札

14) 13) 渡邊和男:「21世紀産業資源としてのジャガイモの展望 菅沼俊彦:「サツマイモの資源作物としての可能性」 国際農林業協力 (31(3), p30-37, 2008) 際農林業協力(31(3), p38-56, 2008) 国

芋エネルギーについての問い合わ tksuzuki@waka.kindai.ac.jp



たかひろ

近畿大学生物理工学部生物工学科 教授

名工研を経て、96年東京理科大学基礎工学部助教授。4 生産する弱光栽培法を研究するために大学へ復帰。 外線が苦手であることを発見。畑で芋エネルギーを大量 粧品会社の紫外線褪色の研究にヒントを得て、 年後大学を辞め、 に至る。 士、米国マサチューセッツ工科大学、通産省工業技術院 1959年愛知県三河農家の生まれ。 民間で新規事業開拓の方法を探る。化 名古屋大学農学博 植物も紫