

ジャガイモ電池は蛍の光・窓の雪？の研究

富士市立富士中学校

3年 日向遙人

1 動機

中学1年の夏休みから「電池」に関する自由研究を続けてきた。1年のときのレモン電池研究では、電池単独のときは十分な電圧があっても、LEDを接続すると電圧降下が起きてLEDが発光しないという現象に悩まされた。そこで、自分なりの方法で大型の模擬レモン電池を作って再実験を行い、LED発光に成功することができた。その後の調査で、電池がもつ内部抵抗が電圧降下の原因であると知り、2年の夏休みには内部抵抗に関する研究を行い、その性質や電池の性能に与える影響などを調べた。今年の研究テーマ選定にあたり、ヘブライ大学農学部ハイム・ラビノヴィッチ教授によるジャガイモ電池の研究に注目した。それは、ジャガイモから効率的に電気を取り出す技術が実用化されれば、電力インフラから取り残された発展途上国に住む人々が安価かつ速やかに電気を利用することができ、生活の質を飛躍的に向上させられるというものだった。しかし投資家や企業は、太陽光発電や風力発電といった先端技術ばかりに関心を示し、ジャガイモ電池には注目が集まらないとのコメントが載っていた。私はこの記事を読み、ジャガイモ電池が注目を受けて実用化され発展途上国の人々の暮らしに役立つのなら、その社会的意義は大きいと思い、ジャガイモ電池の改良と、それを用いたLED照明の実用化の可能性を今回の研究テーマとして選んだ。そして、ジャガイモ電池が発展途上国の人々を照らす「蛍の光・窓の雪」になることを願って研究を開始した。

2 目的

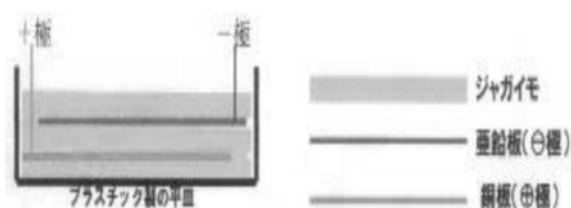
発展途上国でも調達可能なジャガイモ・亜鉛板・銅板という基本的な材料があれば製作できる実用的なジャガイモ電池の開発を目指す。設計に必要なデータを得るために、まずはジャガイモのリン酸含有量を調べた上で、最大限の電力を引き出すためにはジャガイモをどのような状態で電池にしたら良いのか、塩化ナトリウムの添加は電池の性能を向上させるのか、内部抵抗による電圧降下を考慮しつつ実用になる電圧を得るためには電池の個数(セル)はいくつ必要かを調べる基礎実験を行い、その結果に基づいて製作したジャガイモ電池でLEDライトの発光実験を行う。マンガン乾電池との比較によりコストパフォーマンスの検証も行う。

3 方法

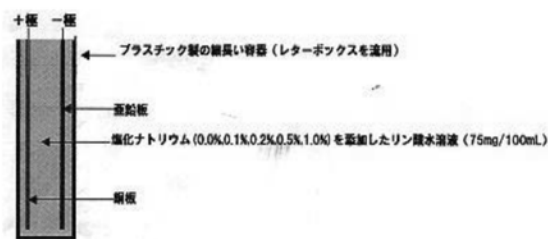
- (1) リンモリブデン青法による定量分析を行い、ジャガイモ中のリン酸含有量を「生」と「茹でた」両方の状態で測定する。
- (2) 【図1】の模擬ジャガイモ電池Aを作り、ア～エの場合について「電池単独時の電圧と電流」「10Ω抵抗を接続したときの電圧と電流」を測定し、「内部抵抗」を計算する。
ア スライスした生のジャガイモ
イ 擦りおろした生のジャガイモ
ウ スライスした茹でジャガイモ
エ 擦りつぶした茹でジャガイモ
- (3) 茹でたジャガイモと同濃度のリン酸水溶液を電解液とする模擬ジャガイモ電池B【図2】を作り、塩化ナトリウムを0～1%(w/v)添加し、各濃度における「電池単独時の電圧と電流」「10Ω抵抗

を接続したときの電圧と電流」を測定し、「内部抵抗」を計算する。

- (4)【図1】の模擬ジャガイモ電池Aを6個作り、1個から6個まで1個単位で増設していったときの「電池単独時の電圧」「LEDを接続したときの電圧」「LEDの照度」を測定する。照度を測定するときは、暗箱を用いて外光の侵入や光の反射の影響を防止する。
- (5)電池のセルとするプラスチック製の箱を3-(4)の実験結果に基づいて決定した個数用意し、その中に、3-(2)と3-(3)の実験で得た最良の条件を組み合わせたジャガイモを詰める。市販のライトを使って8個のLEDを発光させ1週間観察・測定する。測定項目は「発光状態での電圧と電流」「LEDの照度」とする。
- (6)前項(5)のジャガイモ電池の発光実験と同時に単1マンガン乾電池による発光実験を行い、これを検証用の比較データとする。



【図1】模擬ジャガイモ電池A



【図2】模擬ジャガイモ電池B

4 結果

(1) ジャガイモ中のリン酸含有量の測定結果

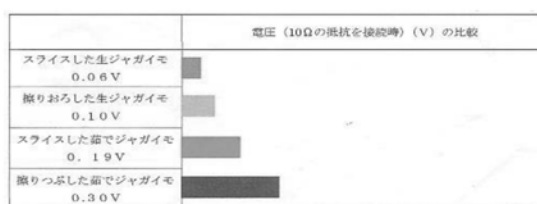
ジャガイモの状態	日本食品標準成分表に基づくリン酸含有量	分析結果
生	122.68mg/100g	72.10mg/100g
茹で	76.68mg/100g	79.30mg/100g

(2) ジャガイモの状態の違いによる比較

※下記の棒グラフは、上から順に3-(2)のア、イ、ウ、エの状態の結果を示している。



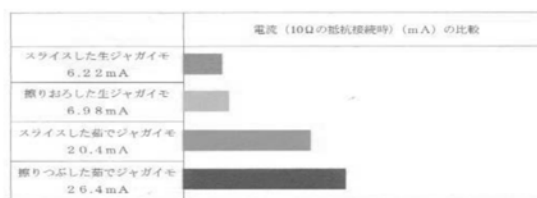
【グラフ1】電池単独時の電圧



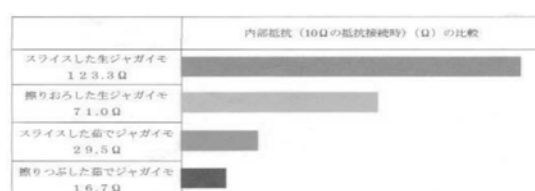
【グラフ2】10Ω抵抗接続時の電圧



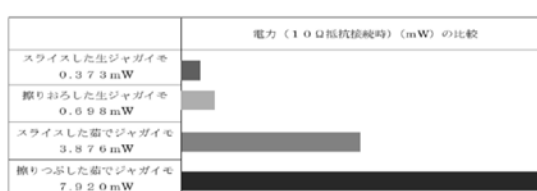
【グラフ3】電池単独時の電流



【グラフ4】10Ω抵抗接続時の電流



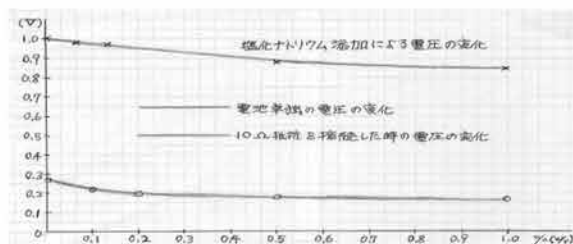
【グラフ5】10Ω抵抗接続時の内部抵抗



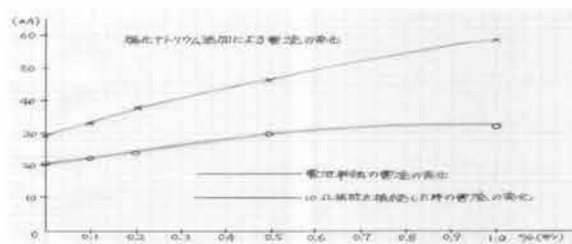
【グラフ6】10Ω抵抗接続時の電力

(3) 塩化ナトリウムの添加が電圧、電流、内部抵抗に与える影響の測定

※電圧と電流のグラフは、上側の線が電池単独、下側の線が 10Ω 抵抗接続時を示している。



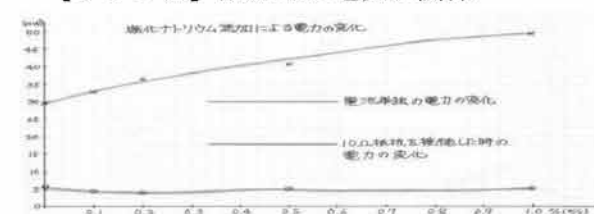
【グラフ 7】添加量と電圧の関係



【グラフ 8】添加量と電流の関係



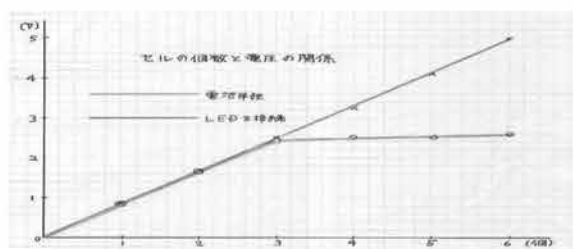
【グラフ 9】添加量と内部抵抗の関係



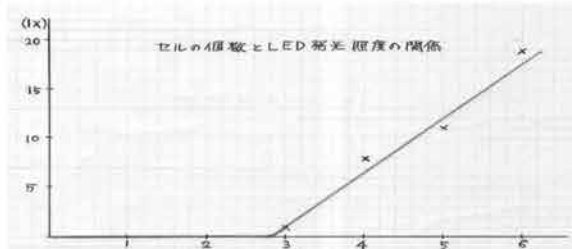
【グラフ 10】添加量と電力の関係

(4) 電池セルの個数と電圧及びLED照度の関係

※この結果から試作品のセル数を6個に決定した。



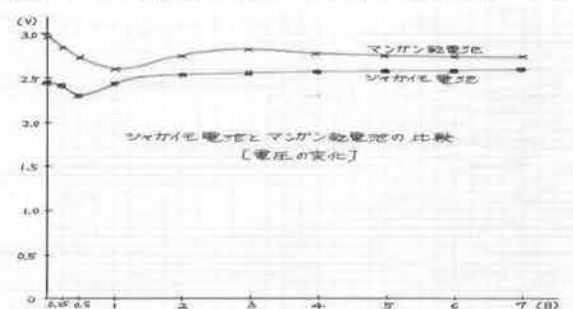
【グラフ 11】セルの個数と電圧の関係



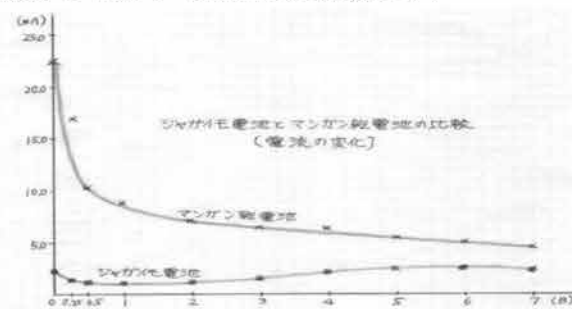
【グラフ 12】セルの個数と照度の関係

(5) 及び (6) LEDライト連続発光実験の結果 (ジャガイモ電池とマンガン乾電池の比較)

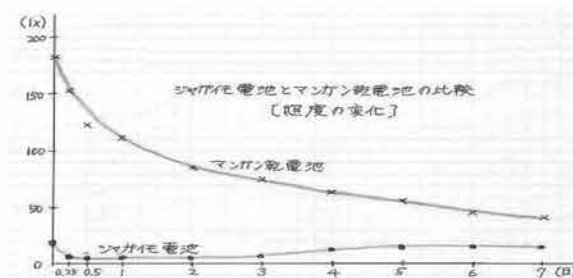
※グラフの上側の線がマンガン乾電池、下側の線がジャガイモ電池の変化を示す。



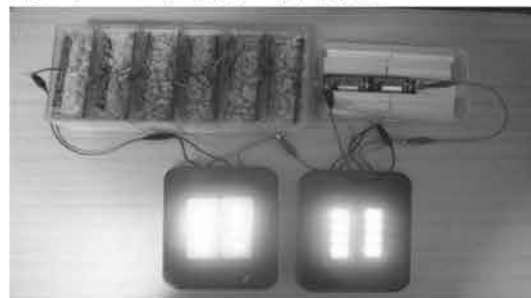
【グラフ 13】電圧の経時変化



【グラフ 14】電流の経時変化



【グラフ 15】LED照度の経時変化



【写真 1】7日経過後の発光の様子

5 考察

日本食品標準成分表によると、茹でたジャガイモのリン含有量は生の状態の62.5%である。これは、茹でることによって細胞膜が破壊されてリン酸が溶出するためと思われる。茹でて細胞膜が壊れることでイオンや電子の流れがスムーズになるので、茹でた方が電池の性能は生の状態より良くなるが、茹ですぎるとリン酸の流出による悪影響が発生する。ラビノヴィッチ教授の研究では茹で時間は8分が最適とのことだが、その理由は細胞膜の破壊とリン酸の流出のバランスによるものと思われる。また、生のジャガイモの測定結果が成分表の数値よりも低かったのは、ジャガイモの擦りおろしが粗く、細胞膜が完全に破壊されない部分があったためと思われる。従って、生のジャガイモの分析サンプルを調製する際は、乳鉢等で完全に細胞膜を破壊する必要がある。

ジャガイモは、茹でて擦りつぶした状態のものが電圧、電流、電力、内部抵抗のいずれも最良だった。これは熱と物理的な力による細胞膜の破壊および、電極表面との接触が密になることに起因していると考えられる。4-(2)の実験結果から、茹でることによって電力が10倍になるというラビノヴィッチ教授の研究結果を確認し、さらに擦りつぶすことで20倍以上になることを発見した。

塩化ナトリウムの添加が電圧および電流に与える影響と、負荷接続の有無による電力発生量に与える影響は、それぞれ相反する結果となった。塩化ナトリウムは起電力には妨害成分となるが、電気抵抗を低下させ電流の流れをスムーズにする。電圧と電流を掛けた電力では、無負荷の状態ではプラスに働くが、負荷をかけるとマイナスに働く。無負荷のときは塩化ナトリウム添加による電圧の低下率よりも電流の増加率が上回って電力が増加したが、これは負荷をかけることで内部抵抗による電圧降下が発生し、電圧の低下率が電流の増加率を上回る逆転現象が起きたためと思われる。

LEDを接続した状態でセルを直列に増やしていくと、LEDが発光を始めるまで電圧は直線的に上昇するが、発光開始と同時に電圧降下が起きて上昇率は極端に低下した。一方で電流はLEDが発光するまでは流れず、発光開始と同時に流れ始め、セルの数に比例するように増加していった。この現象は、LEDの「電圧-電流特性」に合致している。LEDにかける電圧を上げていくと、最初電流は流れないが、ある一定の電圧に達すると抵抗値が極端に小さくなって急激に電流が流れるようになり、電圧の上昇に対して電流値は非常に高い増加率を示す。今回の実験では、LEDが発光を始めるセル3個目から電圧の上昇率は極端に低くなり、一方で電流はセル3個目までは流れないが、3個目以降はセルの数に比例して増加していく。電圧の上昇率は低い、電流の増加率は非常に高いので、わずかな電圧の上昇でも電流は大きく増加する。ジャガイモ電池のセルを3個以上つなげることで、順方向電圧以上の電圧に達するので、それ以降はセルの数を増やせば発光強度は増加していく。このような特性によりLEDはジャガイモ電池の発光源となり得る。

電池としての性能はマンガン乾電池の方が明らかに優れている結果となったが、人間の感覚は、照度に対して対数的に明るさを検知するため、10倍の照度が人間の目には2倍の明るさに、10分の1は半分の明るさに感じる。これもジャガイモ電池の実用化を考える際に考慮すべきである。

6 まとめ

ジャガイモ電池は、少なくとも1週間はLED照明の電源として使用可能である。また、ジャガイモの国際相場で計算すると、単1マンガン乾電池の6.5分の1のコストになった。その反面、時間の経過によるジャガイモの腐敗が問題となり、これを解決することが今後の課題として残った。

7 参考文献

ヘブライ大学公式ホームページ <http://new.huji.ac.il/en/>

イシューム公式ホームページ <http://www.yisum.co.il>

Potato Power - Yisum Introduces Potato Batteries for Use in the Developing World

http://www.yisum.co.il/sites/default/files/potato_batteries_eng_final.pdf