The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	製麹に及ぼす印加磁場の影響
Author(s)	宇戸, 禎仁; 海本, 賢都
Citation	電気材料技術雑誌. 2022, 31(1), p. 35-40
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/89737
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

製麹に及ぼす印加磁場の影響

宇戸　禎仁[1]、海本　賢都[2]

[1]大阪工業大学工学部生命工学科　〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1
[2]島津メディカルシステムズ株式会社　〒532-0003 大阪市淀川区宮原 3 丁目 5-24

Effect of applied magnetic field on koji making

Sadahito UTO[1], Kento UMIMOTO[2]

[1]Department of Biomedical Engineering, School of Engineering, Osaka Institute of Technology
5-16-1 Asahi-ku Omiya, Osaka, Osaka 535-8585, JAPAN
[2]Shimadzu Medical Systems Corporation
3-5-24 Yodogawa-ku Miyahara, Osaka, Osaka 532-0003, JAPAN

The effects of magnetic fields on living organisms have been studied for a long time, and research has been conducted not only on humans but also on microorganisms such as Escherichia coli and yeast. However, there are many unexplained points about their biological mechanisms. In this study, we found that applying a static magnetic field to rice malt increases the concentration of glucose. Microscopic observation of hyphae was also performed to investigate the biological mechanism.

キーワード：コウジカビ、磁場印加、製麹、グルコース濃度

１．はじめに

日本酒や味噌など日本の伝統食品の多くは、麹菌（ニホンコウジカビ　Aspergillus oryzae）の様々な酵素の働きによって醸造される。その代表的な酵素がアミラーゼであり、図１に示すようにデンプンをグルコースに換える働きを持つ[1), 2)]。

日本酒の原料は基本として米、水、麹、酵母の四つである。日本酒の製造は、蒸した米に麹菌をまぜ米麹（こめこうじ）をつくる。これは製麹（せいきく）ともよばれる。この過程で麹菌は蒸し米のデンプンを食べて増殖し、このとき生じるグルコースを酵母菌がアルコールへと分解して日本酒が出来る。

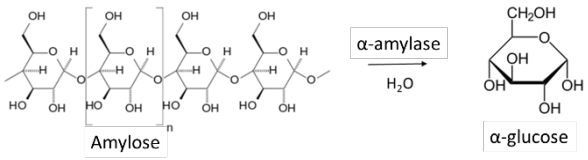


図１　αアミラーゼ酵素によるデンプンの糖化
Fig. 1 Saccharification of starch by α-amylase enzyme.

磁場が生物に及ぼす影響については古くから研究されており、ヒトに対する影響はもちろん、大腸菌や、酵母などの微生物に対する研究も行われてきた。しかしそれらの生物学的機序については未解明な点が多い[3), 4), 5)]。

本研究では米麹に静磁場を印加するとグルコース濃度が上昇することを見出したので、様々な磁場を印加してその効果について調べた。またその生物学的機序について調べるために菌糸の顕微鏡観察も行ったので報告する。

２．実験方法

室温まで自然冷却した蒸し米に質量濃度 0.8%の種麹（長白菌：菱六）を混ぜ、35℃のインキュベータ内で 24 時間培養して米麹を作製した。この米麹をインキュベータから取り出して室温で 15 分間磁場を印加した。磁場印加にはワイス型電磁石（EM-0505WV：エコー電子）を使用した。磁場印加後は直ちにインキュベータに戻して、さらに 48 時間（合計 72 時間）培養を行った米麹のグルコース濃度を測定した。グルコース濃度の計測は、過酸化水素電極法を原理とするグルコース濃度計（GF-501-H：タニタ）を使用した。

実験で使用したワイス型電磁石は、精密電力増幅器（4510：エヌエフ）を使って励磁しており、ファンクションジェネレータ（DF1906：エヌエフ）の出力波形を変えることで任意の波形の磁場を米麹に印加することが出来る。この実験では静磁場や正弦波の他に、±1200mT の方形波磁場や、図 2 のような台形波磁場を印加して実験を行った。

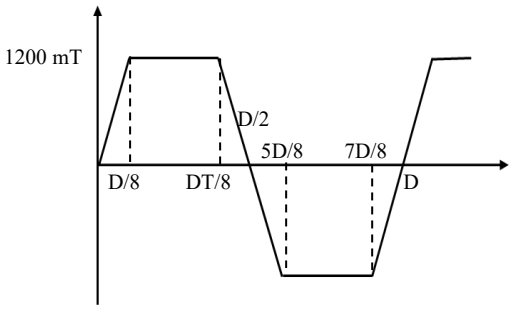


図 2　印加した台形磁束密度の波形
Fig. 2 Waveform of applied trapezoidal magnetic flux density.

磁場の方向を変える実験では、図 3 のように磁極間に設置する米麹の向きを、磁力線と直交する回転軸で回した。この回転は手作業で行った。

麹菌の菌糸の観察にはスライド培養法を用いた。スライド培養法はカビなどの菌をスライドガラス上で培養し、顕微鏡で直接観察する方法であり、菌糸の成長や胞子の形成などの形態観察ができる。今回用いたスライド培養法では図 4 に示すように、ガラスディッシュの底のポテトデキストロース寒天培地（厚さ約 1mm）に種麹を塗抹し、35℃のインキュベータで麹菌を培養した。この麹

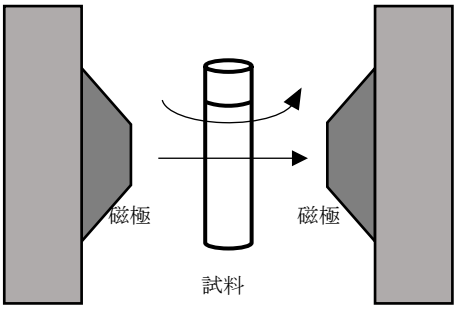


図 3　試料の回転
Fig. 3 Sample rotation.

を寒天培地ごと 10mm 角に切り取り、スライドガラス上に載せてカバーガラスで挟んだ。乾燥をふせぐため滅菌水で湿らせた濾紙をディッシュ上に敷き、直接触れないようにスペーサーの上にスライドガラスを配置して蓋をした。このスライドガラス上の麹を 35℃のインキュベータで 12 時間培養したのちに室温で 1200 mT の静磁場を印加した。磁場印加後ただちにインキュベータに戻して、さらに 12 時間培養を行った菌糸を透過倒立顕微鏡で観察した。

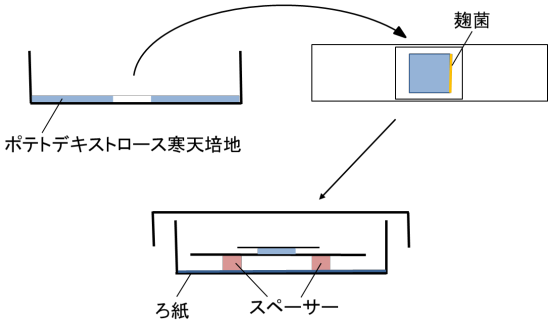


図 4　菌糸観察用麹菌の培養方法
Fig. 4 Observation method of mycelium.

３．実験結果

３．１．グルコース濃度の測定

米麹に静磁場を印加することによって、図 5 に示すようなグルコース濃度の違いが見られた。ここで control 実験は、磁場を印加しないで 15 分間室温に放置して再びインキュベータに戻した試料のグルコース濃度であり、磁場印加の有無以外は同条件である。1200 mT の磁場を印加した場合は、統計的に有意なグルコース濃度の増加がみられ

た。ここでのグルコース濃度はコントロールの値が 1 になるように規格化された値を示している。600mT の実験ではグルコース濃度が増加したとは言えない結果が得られた。

図 6 は静磁場の印加時間を変えてグルコース濃度を測定した結果である。15 分までは印加時間の増加と共にグルコース濃度が増加し、15 分を超えるとほぼ一定の値となっている。なお、磁場印加は室温で行うが、30 分程度の室温放置では、グルコース濃度に有意な変化がみられないことが実験によって確認されている。

次に、ファンクションジェネレータからの出力波形を変えて、方形波、台形波、正弦波の磁束密度を印加した実験結果を図 7 に示す。すべて周波数 10Hz、振幅 1200mT の波形である。どの波型もコントロールと比較して統計的に有意な差があるとは言えない結果となった。

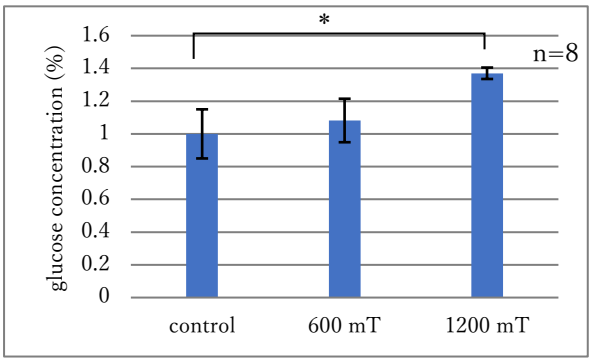


図 5　静磁場印加によるグルコース濃度の変化

Fig. 5 Increase in glucose concentration by applied static magnetic field

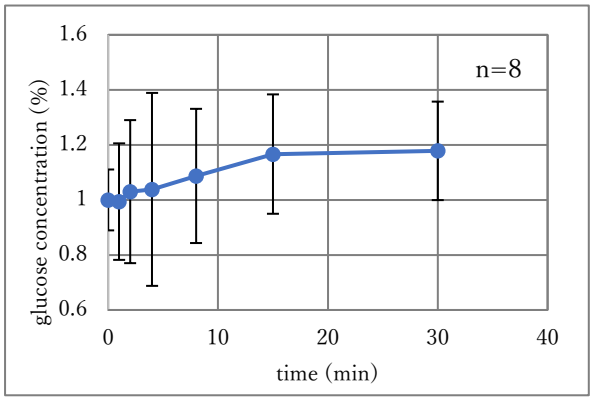


図 6　グルコース濃度の磁場印加時間依存性

Fig. 6 Static magnetic field application time dependence.

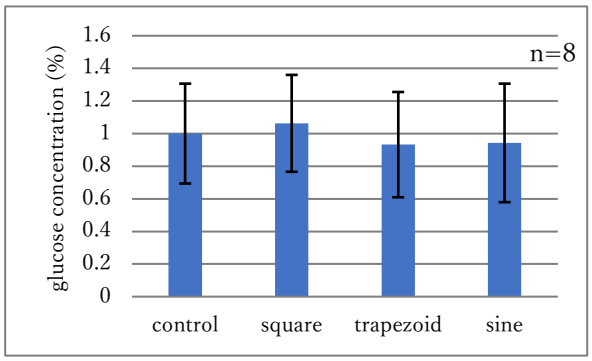
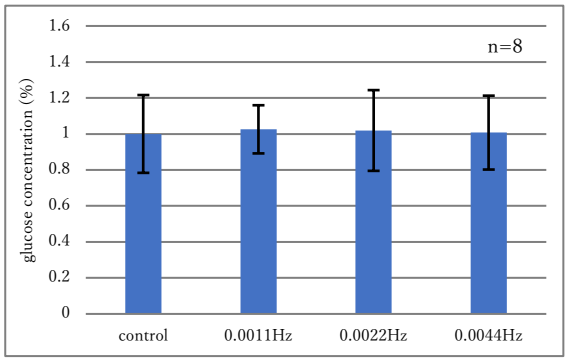


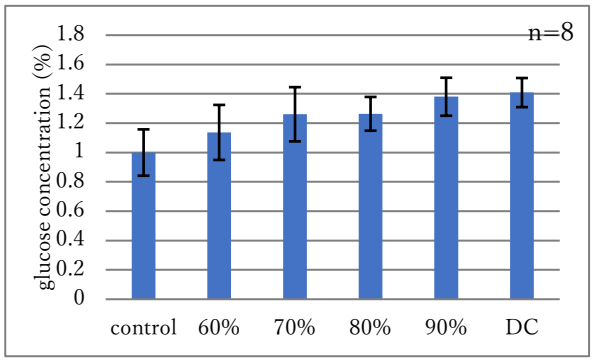
図 7　印加磁場の波形とグルコース濃度

Fig. 7 Applied waveform dependence.

方形波の周波数を変えた実験結果および、方形波の±の印加時間の比（duty 比）を変えた実験結果を図 8(a)、(b)にそれぞれ示す。



(a)



(b)

図 8　様々な方形波磁束を印加した結果
(a) 周波数依存性（duty 50%）、(b) デューティー比依存性（f = 10Hz）

Fig. 8 Result of applying a square wave magnetic field.
(a) Frequency dependence (duty 50%), (b) Duty ratio dependence (f = 10Hz).

図 8(a)において、磁場の印加時間は 15 分間なので、最も周波数が小さい 0.0011Hz（周期 15 分）で

は印加開始から 7 分 30 秒後に一度だけ極性の反転が起きている。つまり、一度の極性反転によって磁場の効果があるとは言えない結果となっている。

また方形波の±の割合(duty 比)を変えた図 8(b)の結果から、波形が非対称になるとグルコース濃度が上昇する傾向があることがわかる。duty 比 100%は静磁場、duty 比 50%は（対称）方形波波を意味する。

図 9 は約 7 分 30 秒間静磁場印加後に、サンプルディッシュを回転してさらに 7 分 30 秒間静磁場を印加した実験結果である。

回転しない 0°の結果は静磁場印加に等しいので当然ではあるが、90°回転した場合でもグルコース濃度の上昇が観測された。

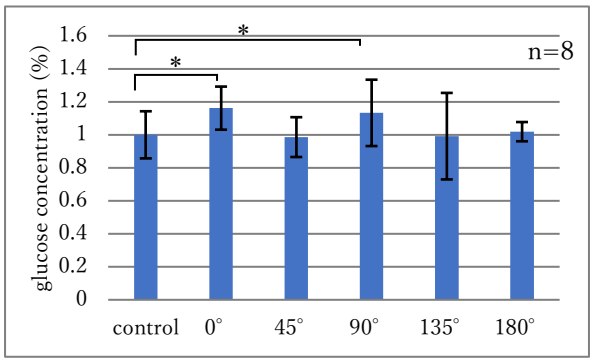


図 9　サンプルを回転した結果

Fig. 9 Results of rotated samples.

３．２．菌糸の観察

菌糸の透過型倒立顕微鏡写真を図 10 に示す。35℃のインキュベータ内で培養したあと、磁場を印加する前の菌糸が図 10(a)である。そのサンプルに 1200mT の磁場を印加した直後の写真が図 10(b)であり、磁場印加直後はほとんど変化が見られない。その後 35℃インキュベータに戻して 12 時間培養した後の写真を図 10(c)に示す。

４．考察

図 5 の結果から、製麹過程においてわずか 15 分間静磁場を印加するだけで麹菌が活性化し、グルコース濃度が上昇することがわかる。また 600mT では上昇がみられないことから、閾値が存在することが示唆されている。およそ 0.05 mT 程度である地球表面の地磁気は十分に弱いので無視できる

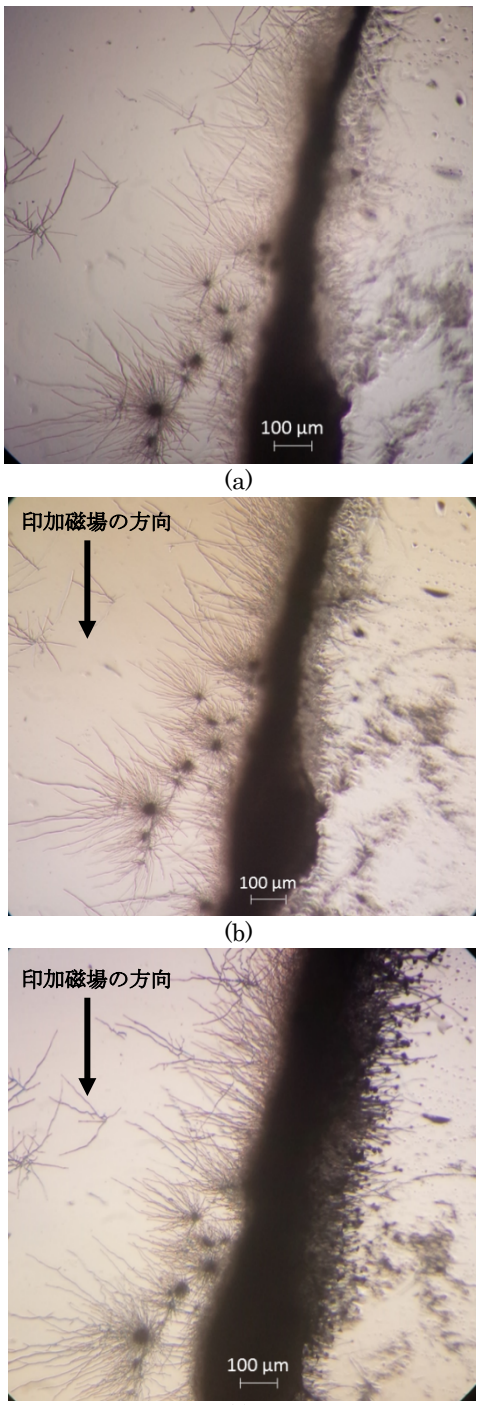


図 10　菌糸の透過倒立顕微鏡写真
(a) 12 時間培養後、磁場印加直前、(b) 磁場印加直後、(c) 磁場印加のあと 12 時間培養後

Fig. 10 Transmission micrograph of hyphae.
(a) After 12 hours of culture, immediately before magnetic field application, (b) immediately after magnetic field application and (c) after 12 hours of culture after magnetic field application.

と考えられる。

磁場の印加時間に関しては図6に示すように１５分を超えると効果が飽和することがわかった。今回の磁場印加操作はサンプルをインキュベータの外に出して行った。そのため磁場印加中は室温までサンプル温度が低下するが、この15分程度の短時間であれば、温度低下の影響は無視できることが実験で明らかになっていることを考慮すると、短時間の磁場印加でも十分にグルコース濃度に影響を与えることが出来ると考えられる。

次に交流磁場を印加した図7の結果から、周期的に磁場の向きが反転する交番ではグルコース濃度の有意な上昇はみられなかった。今回、方形波、台形波、正弦波の３種類の波形を印加したが、これらの磁束密度を時間微分した値に比例した渦電流が発生しているはずであり、渦電流の影響について検討する必要がある。

そこで周波数とデューティー比を変えた方形波磁場を印加した実験を行った。その結果、図8(a)に示す、一度だけ極性が反転する0.0011Hzにおいても増加したとは言えない結果が得られた。さらに図8(b)では図7と同じ10Hzであっても duty 比が100%（静磁場）に近づくとグルコース濃度の上昇がみられている。これらの結果から、極性反転の回数ではなく一方向の静磁場を印加する時間がグルコース濃度上昇に影響していると考えられ、渦電流の影響はほとんどないと言える。

図9はサンプルを回転させて磁場方向を変化させた実験の結果である。この場合手でサンプルを回転させているので、サンプルに流れる渦電流は図8の方形波印加実験に比べると小さいはずであるが、それでも180°回転させるとグルコース濃度の上昇が抑制されているので、この結果からも渦電流の影響はほとんどないと言える。

図9の結果において、90°回転させた場合もグルコース濃度が上昇しているが、直交する磁場であれば先に印加していた磁場のベクトル成分は0であるので、打ち消す効果が弱くなっていることが原因かもしれない。磁場の印加方向が影響することから麹菌内部の磁性体が関連している可能性も考えられ、磁場によるグルコース濃度上昇の機序を解明するうえで興味深い結果である。

以上が極性や時間を変えた磁場印加によるグルコース濃度実験結果であるが、麹菌に及ぼす磁場の影響の発生機序については殆ど解明されておらず、生物学的な機序解明は今後の課題である。

今回、機序解明を目的として、菌糸の顕微鏡観察を行ったが、図10の顕微鏡写真を見る限りでは菌糸の成長方向と磁場印加方向の相関は確認できなかった。

５．まとめ

米麹の製麹過程においてわずか15分間1200 mTの静磁場を印加することで、グルコース濃度が上昇することが明らかとなった。この現象は、交流磁場では波形や周波数に関係なく生じないが、その理由は渦電流の影響ではないことがわかった。しかしながら麹菌に及ぼす磁場の影響については生物学的にわからないことが多く、今後はその機序について調べる必要があり、グルコース濃度の変化のほか、菌体量や酸性カルボキシペプチダーゼ活性の変化なども実施する予定である。

麹菌が磁場から受ける影響の機序については現時点では不明であるが、わずか15分間磁場を印加するだけでグルコース濃度が上昇することから、酒造過程に応用できる可能性がある。たとえば、日本酒醸造では、麹菌による糖化と酵母によるアルコール発酵を同時に行う並行複発酵を行うが、磁場を印加することによって糖化のみを制御することも原理的に可能となり、あらたな醸造技術の開発が期待できる。今回の実験では磁場印加に電磁石を使用しており、磁場印加には設備費と電気代が無視できないが、ネオジム永久磁石を用いた実験でもグルコース濃度の上昇が確認できるので、安価に実現できる可能性がある。

謝辞

本研究を行うにあたり以下の企業、研究機関の関係各位の皆さま方にご協力、ご支援を賜りました。ここに記し、深く感謝いたします。

月桂冠（株）総合研究所、（株）ＫＲＩスマートマテリアル研究センター。

また、本研究は卒業研究として多くの学部生が手伝ってくれました。ここにお礼を申し上げます。

参考文献

1) 野白喜久雄、小崎道雄、好井久雄、小泉武夫：「醸造学」、講談社、(1993) 44-52.
2) 古沢淑、石川雄章、蓼沼誠、長澤道太郎、永見憲三：「醸造・発酵食品の事典」、朝倉書店、(2010) 218-219.
3) 中村孝夫、小野寿樹、野村保友、馮忠剛：磁界の生体に及ぼす影響、山形大学紀要（医学）、24 [1] (2006) 25-34.
4) 土屋耕治、中村一博、奥野和政、阿野貴司、正田誠：大腸菌増殖に対する超高磁場の影響、日本生物工学会大会講演要旨集、(1996) 258.
5) 正田誠：生物に及ぼす磁気の影響、醸造協会誌、89 [9] (1994) 710-716.

（2022 年 10 月 30 日　受理）

著者略歴

宇戸　禎仁

1992 年 3 月愛媛大学工学部電気工学科卒業。1994 年 3 月同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程修了。1997 年 3 月大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。現在、大阪工業大学工学部生命工学科教授。博士（工学）。現在、生体電子工学の研究に従事。日本液晶学会、日本生体医工学科、電気学会の会員。

海本　賢都

2015 年 3 月大阪工業大学工学部生命工学科卒業。2017 年 3 月同大学大学院工学研究科生命工学専攻修了。修士（工学）。現在、島津メディカルシステムズ株式会社に勤務。