

農山村における未利用有機資源の活用 (Ⅳ)

—発酵熱利用によるハウス暖房 (その2)—

酒 井 信 一

信州大学農学部

Efficient Utilization of Unused Organic Resources in Rural District (Ⅳ)

—Greenhouse Heating by Fermentation Heat (2)—

Shinichi SAKAI

Faculty of Agriculture, Shinshu University

Abstract : As reported in the previous papers¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ of this journal, raw garbage tossed into a rotating barrel supplying with fermenting bacteria (Z bacteria) was converted to livestock feed or unripened compost after 3~4 hours fermentation treatment. The greenhouse was heated experimentally by the apparatus shown in Fig.1 and 2. About 4-ton unripened compost was placed in the fermentation ditches in the greenhouse with 55 m², in order to play a role of heater. In the same way as mentioned in the previous paper⁴⁾, the greenhouse was started heating by fermentation from early January in 1980. During the period of 3 months, the outside air temperature sometimes fell down less than -10°C, but under appropriate control of ventilation and water supply, the minimum daily temperature in the greenhouse was 5°C higher than that in outside, and the minimum daily temperature inside of the vinyl tunnels covering on the ridge was maintained above 0°C, and the soil temperature below 15cm from surface at the middle of the ridge was always maintained above 10°C. The unripened compost put into the heater, ripened with the time. The compost which was tossed into the ridge reduced in volume of about 80% by ripening in early spring, and it was returned to the farm.

Key words : heating the greenhouse, fermentation heat, compost, ripening

ハウス暖房, 発酵熱, 堆肥, 熟成

I はじめに

本報告では、発酵熱利用によるハウス暖房について取り上げられているが、主たる目的は、作物栽培用のガラス室あるいはビニールハウスを活用した未熟堆肥の分散熟成である。

先の報告¹⁾²⁾³⁾⁴⁾で述べたように、発酵回転ドラムに発酵菌 (Z 菌) とともに投入された生ゴミは 3~4 時間の混合・加熱処理を経て、家畜のエサまたは未熟堆肥に変わる。堆積された未熟堆肥は適当な水分補給と空気補給を行ってやれば、2~3 カ月にわたって高温発酵を続ける。本報告は図 1 および図 2 に示すような、奥行き 1250cm、幅 437cm、面積 54.6m² のガラス室内に

設置されたコンクリート側溝を利用した三連の発酵溝に投入された未熟堆肥の熟成過程に発生する発酵熱によるハウス暖房実験について第 2 回目の結果をまとめたものである。

II 実験装置および実験方法

前報⁴⁾と同様に、図 1 および図 2 に示すようなガラス室内に、60×60cm の道路側溝を利用して 3 本の発酵溝を設置した。側溝上面は、入口および出口の流し場横の地表面より 50cm 上部に位置し、側溝間およびガラス室側壁との間は側溝上面の下 11cm まで土が投入された。この部分は作物を栽培するための畝を想定して設けられたものである。発酵溝の底には、投入した発

酵試料が好気性発酵を持続するために必要な空気を適宜供給するために、底面中央延長方向に直径40mmの有孔パイプ(両側面に孔径4mmの孔が50mm間隔で開口)が設置され、送風機(日立ミニシロッコ型ファン)に連結された。さらに、空気が酵試料全体を万遍なく分散上昇するように、酵溝底部の厚さ7cmの部分にモミガラが投入された。

酵溝に投入された未熟堆肥(以下酵試料とよぶ)の原料組成は表1の通りであり、混合物の含水率は63%、単位体積重さは0.42kg/lである。オガクズはスギ・ヒノキ・カラマツなど針葉樹のもの、Z菌は文献³⁾に示した好気性・高温菌(数種類の*Bacillus*よりなる複合菌)である。

表1 酵試料の原料組成(第2回実験)

材料名	体 積 (%)	質 量 (%)
残飯・野菜屑・鶏ガラ等	12.7	20.8
魚のアラ(魚市場より)	8.0	24.5
血液(屠殺場より)	7.6	16.7
オガクズ	70.1	36.6
米ヌカ	1.6	1.4
酵菌(Z菌)	(0.015)	(0.010)

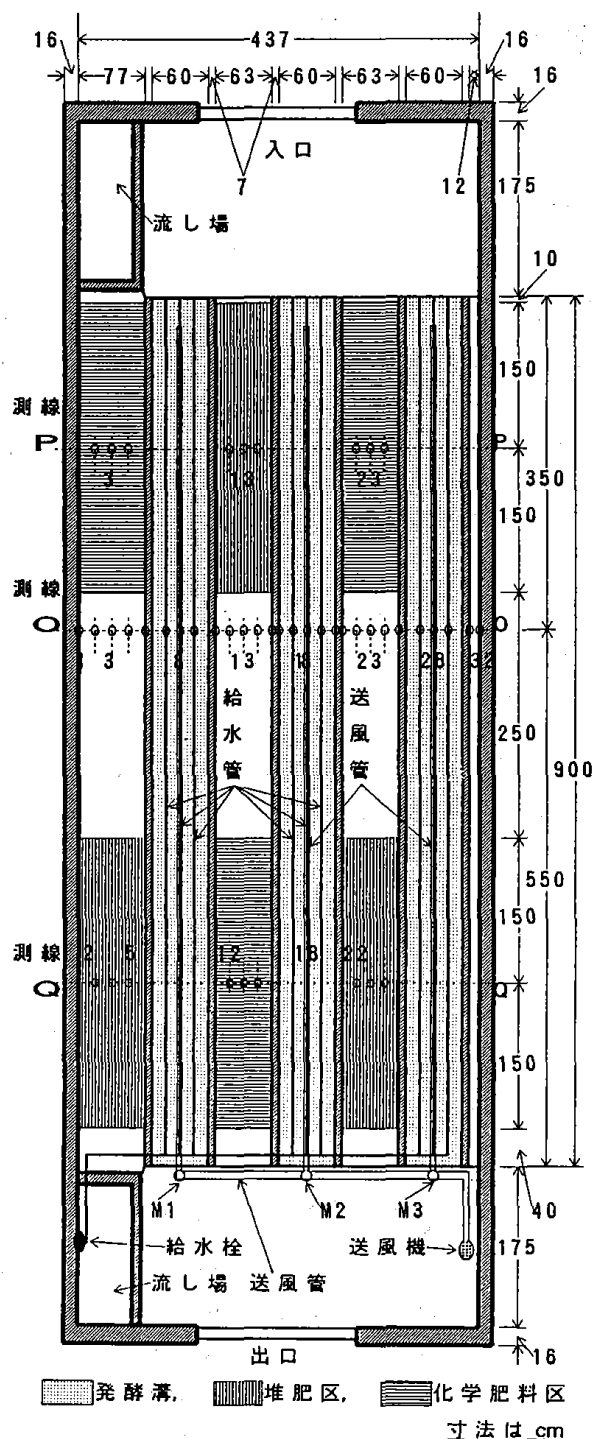


図1 平面図および温度測点

酵試料の作成および酵溝への投入手順は次の通りである。①有機物残渣およびモミガラを交互に酵回転ドラム内に投入(米ヌカで増量したZ菌を添加しながら)、②酵回転ドラム内での混合・加熱4時間(内容物の温度が75℃になるまで)③取り出し後室温まで冷えた状態の酵試料を図1左側の溝の奥により逐次投入(酵溝上端より11cm下まで)(写真1)。

酵回転ドラムによる酵試料の一回の作成量は約2m³であったので、総投入量、8.5m³を確保するために酵処理は5回にわけて、1979年12月23日から12月25日までの3日間にわたって行なわれた。したがって経過日数は投入完了時の12月25日を起点としたので、正確には測線6~10では+1日、測線16~20では+2日、測線26~30では+3日である。

酵試料投入完了後、図1、図2に示すように、試料表面上に8cmの覆土を行い、その上に点滴かん水装置を設置した。覆土の目的は①通気量をコントロールし酵の急速な進行を抑制すること、②酵にともなう発生する臭気を減少させるためである。また、かん水は高温熟成にともなう蒸発によって失われる水分を適宜補給するためである。給水管は実験開始時には図2のように覆土表面に2列(給水管a)に設置したが、途中2月16日には酵試料表面に移動した(給水管b-3列)(写真2)。給水本管は内径20mm、直径の3/4のところに隔壁を有するポリエチレン管で、奥行方向183mm間隔に0.8mmの孔が開けられ、一定量の水が糸状に下向きに噴出している。かん水量の制御は本管の入り口に設置した流量計とタイムスイ

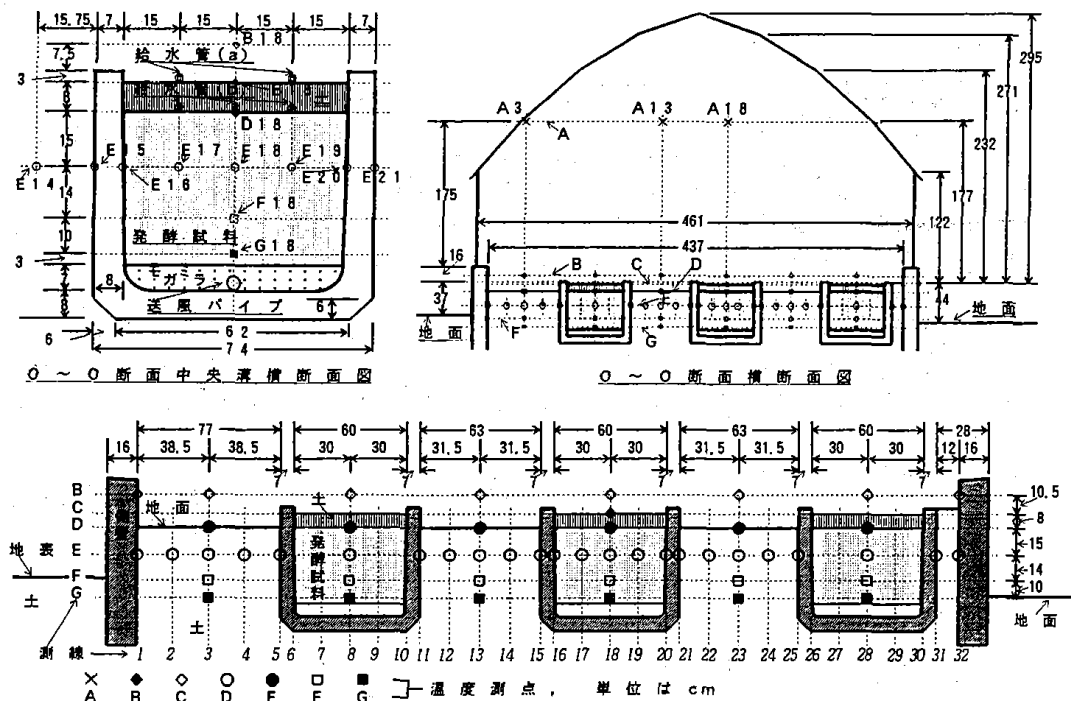


図2 [O~O断面] 断面図および温度測点

ッチによって行なわれた。

温度測定は図1、図2に示す各点、送風パイプ内の主要点および屋外（ハウス横の地上60cm高さの日陰）に温度センサーを設置し、自記記録計にアナログ記録させることによって行った。

送風機の作動は室内温度センサーに連結したサーモスタットの指示により行うようにセットした。

また、ガスアナライザーによりCO₂濃度を測定した。

作物栽培試験は図2および写真3に示す2種6区画において野沢菜を用いて行った。播種は1月24日、収穫は4月4日である。化学肥料は「くみあい園芸用I B化成大粒（T-N10、T-P₂O₅ 10、T-K₂O 10）」、施用量は150kg/10aである。堆肥は前年の第1回実験で発酵溝の中で約1年間熟成させたもの（原料組成は表1と同様）で、施用量は3,000kg/10aである。各試験区にはビニールトンネルを設け生育初期の夜間のみ被覆を行った。

III 実験結果

発酵試料は図3に示すように発酵溝投入後直ちに発酵を再開するが、覆土によって通気が抑制されているため中温発酵を続ける。1月21日送風開始（室内温度が5℃以下のとき自動的に送風機のスイッチが入るよ

うにセットした）と同時に発酵試料内の温度は急上昇し早朝の気温低下時に効率よく室内に温風を送り出すが、日の出にともなう室内温度の上昇により送風機のスイッチは切れ、発酵試料内への酸素補給が不十分となり発酵試料内の温度は低下する。

このような発酵試料内温度の上昇・低下は図4および図5にも示すように1月27日まで繰り返された。しかし、1月27日の夕方から3日間連続した異常気象（図6の日最低気温を見よ）は送風機のスイッチをONにすることなく、そのため発酵試料内への酸素補給がほとんど無くなり、発酵試料内温度は急激に低下した。

1月30日深夜からの寒波の再来により室内温度は再び5℃を下回り送風が開始されたが、20℃台に低下した発酵試料内温度の回復は大幅に遅れ、ビニールトンネル内の日最低気温も図7に示すように零下を記録した。

送風およびかん水の状況は図6の通りである。

3月15日からの温風送風は送風機にフトン乾燥器を連結して行われた。温風送風時の通気管内（図1の測点M1）の温度推移は図8の通りである。

図9は中央発酵溝中央測線（18）の鉛直方向温度分布図である。

図4は中央発酵溝内およびその右側の土中の深さ15

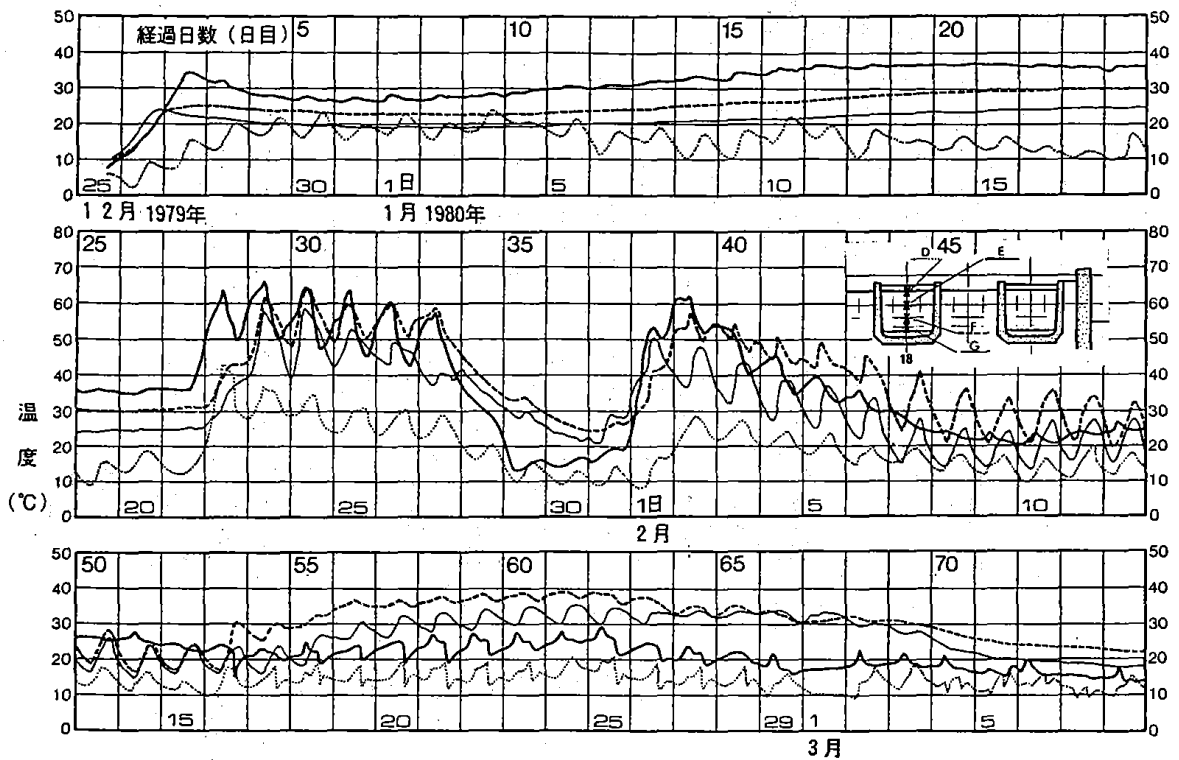


図 3 O～O断面,測線18-D、E、F、Gの温度推移

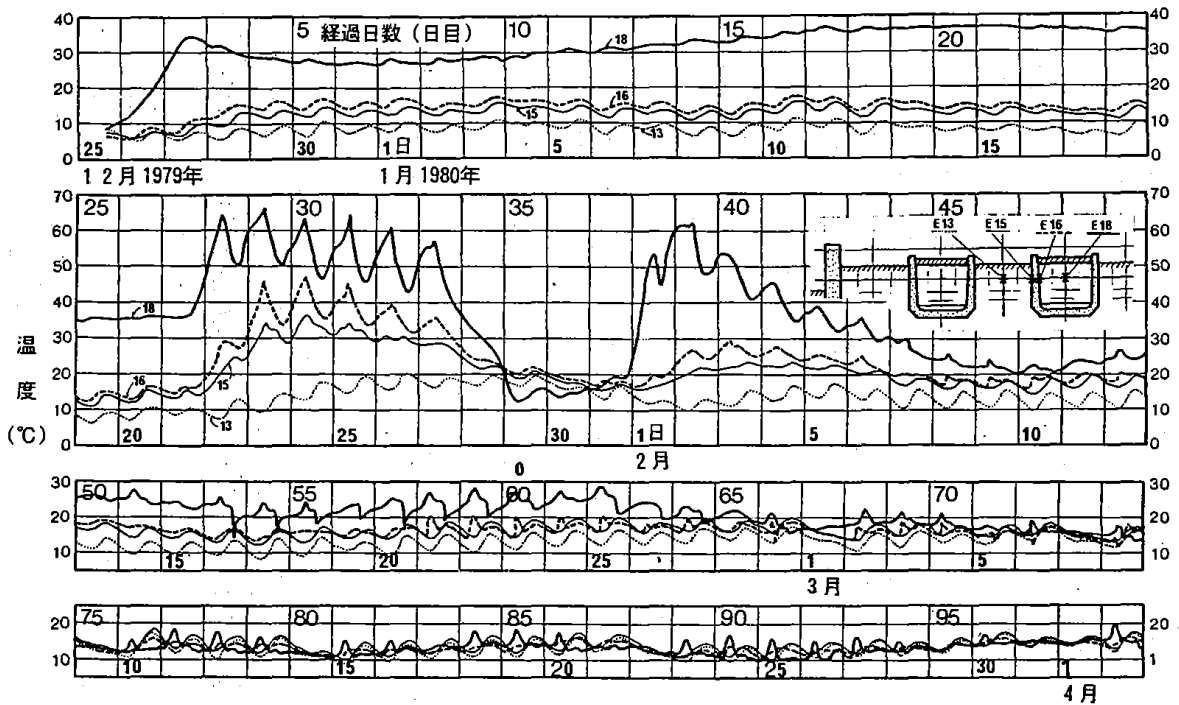


図 4 O～O断面,測線E-13、15、16、18の温度推移

農山村における未利用有機資源の活用 (IV)

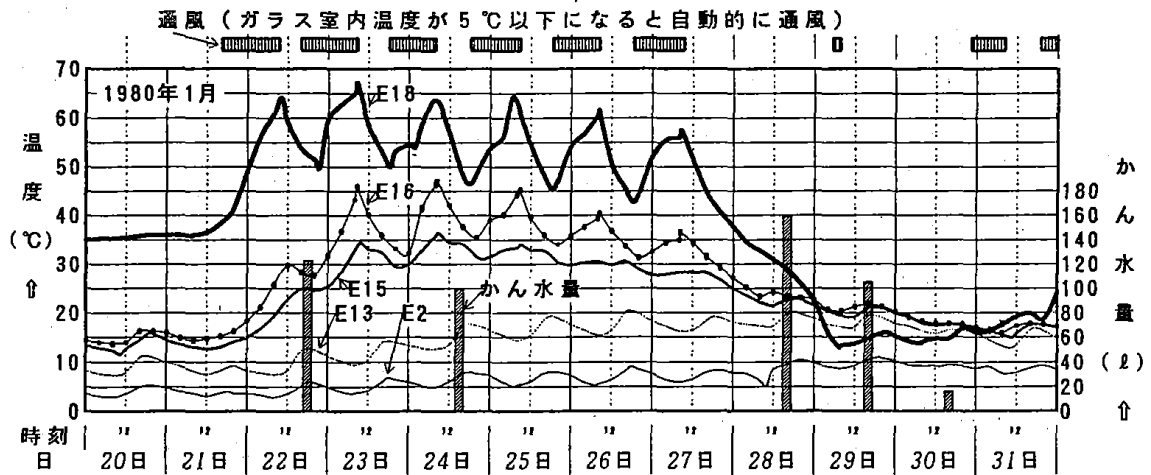


図5 試料中・土中温度の推移、通風時間・
時刻および水量・時刻 (1980年1月20日～31日)

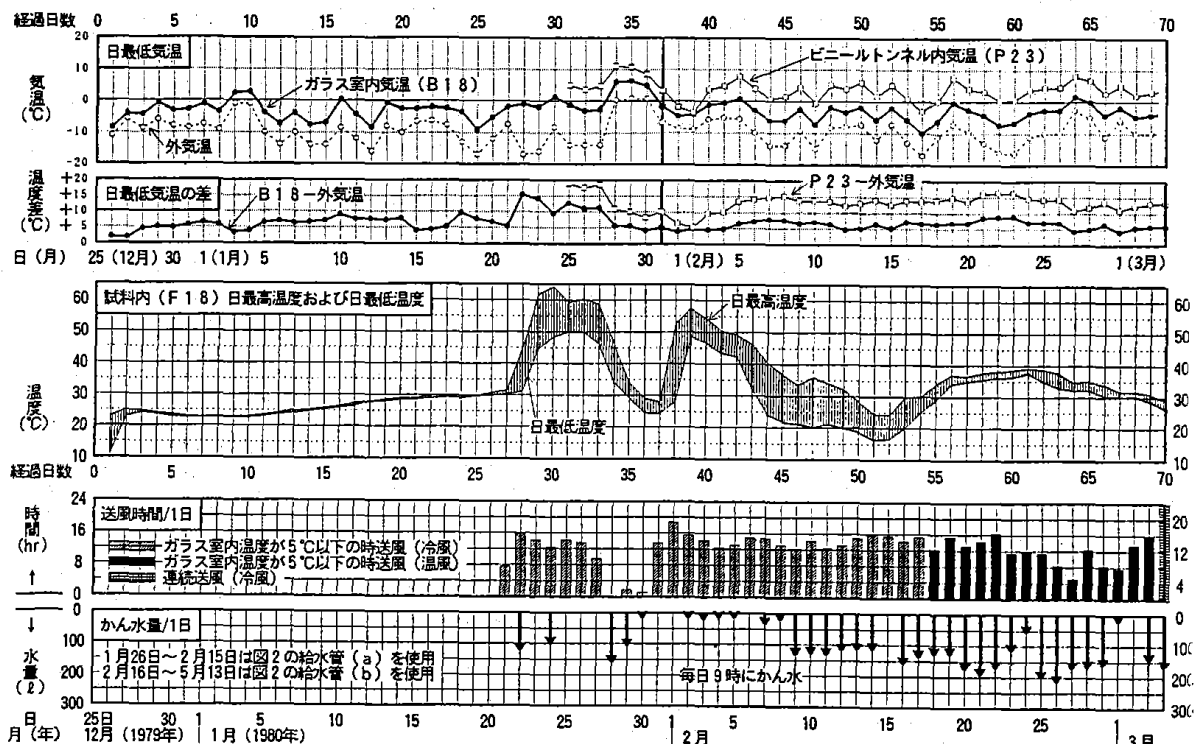


図6-1 屋外・ガラス室内・ビニールトンネル内の日最低気温～温度差
～試料内の日最高最低温度～送風時間～かん水量
(1979年12月25日～1980年3月4日)

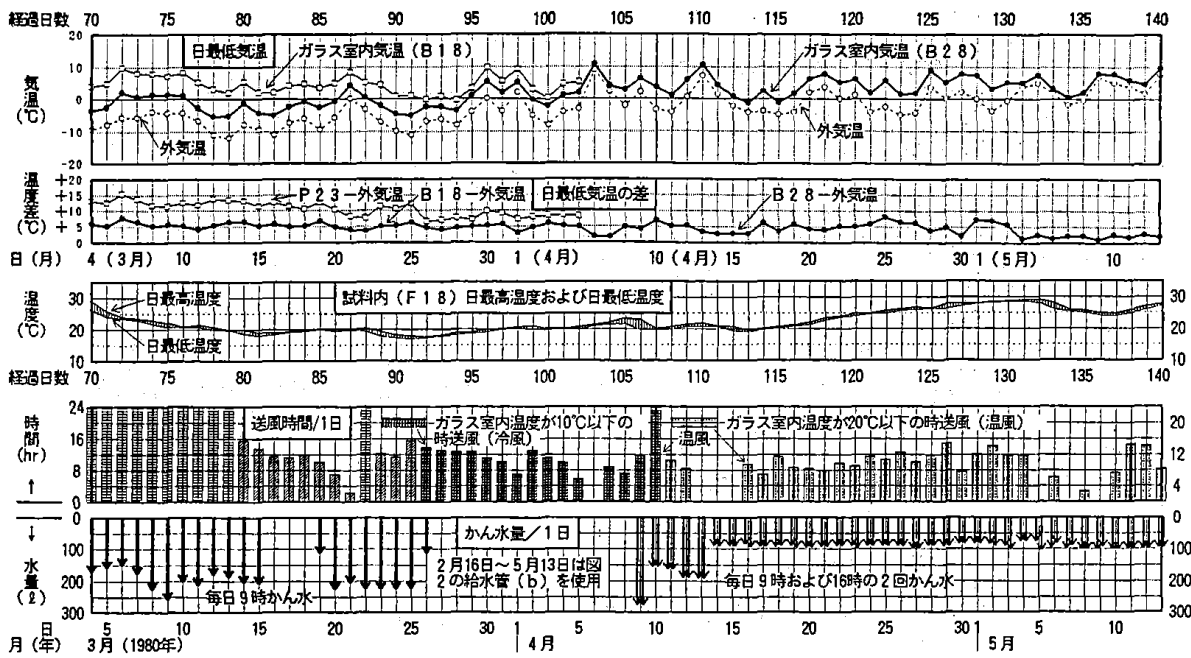


図 6-2 屋外・ガラス室内・ビニールトンネル内の日最低気温～温度差～試料内の日最高最低温度～送風時間～かん水量 (1980年 3 月 4 日～1980年 5 月 13 日)

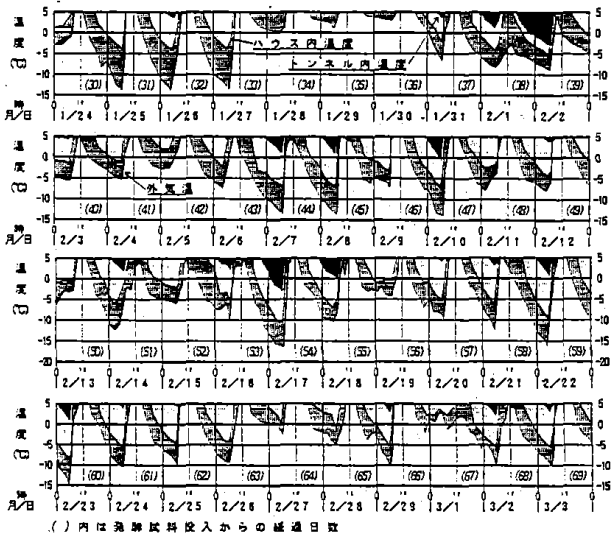


図 7 ビニールトンネル内 (P23-地上30cm) ～ガラス室内 (B3) ～屋外の温度推移 [5℃以下の部分] 1980年 1 月 24 日～3 月 3 日

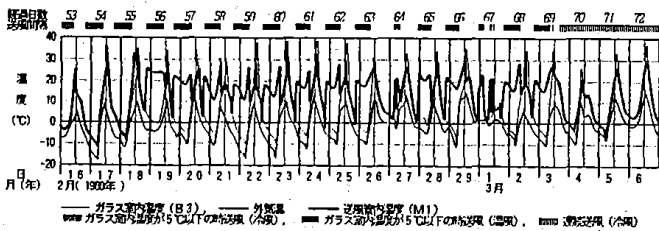


図 8 送風間隔～外気温～ガラス室内気温～送風管内気温 (1980年 2 月 16 日～3 月 6 日)

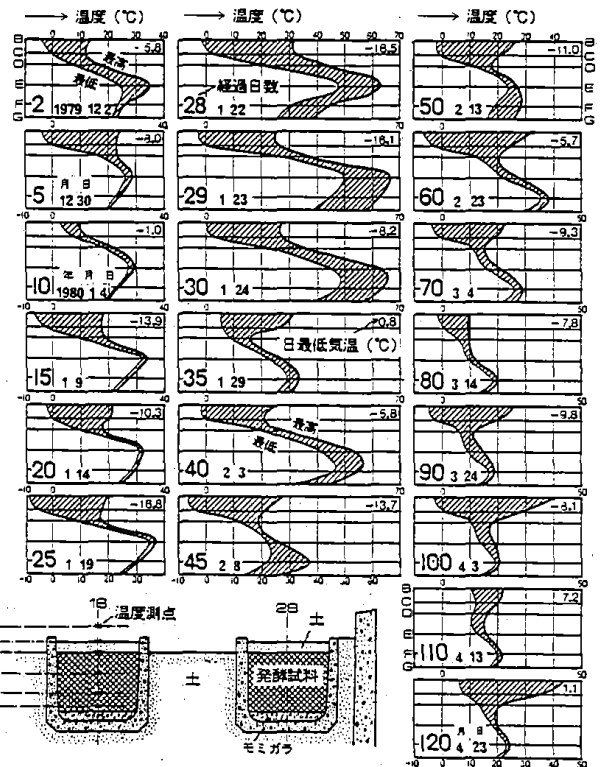


図 9 中央発酵中央測線 (18) の鉛直方向温度分布 (O-O断面)

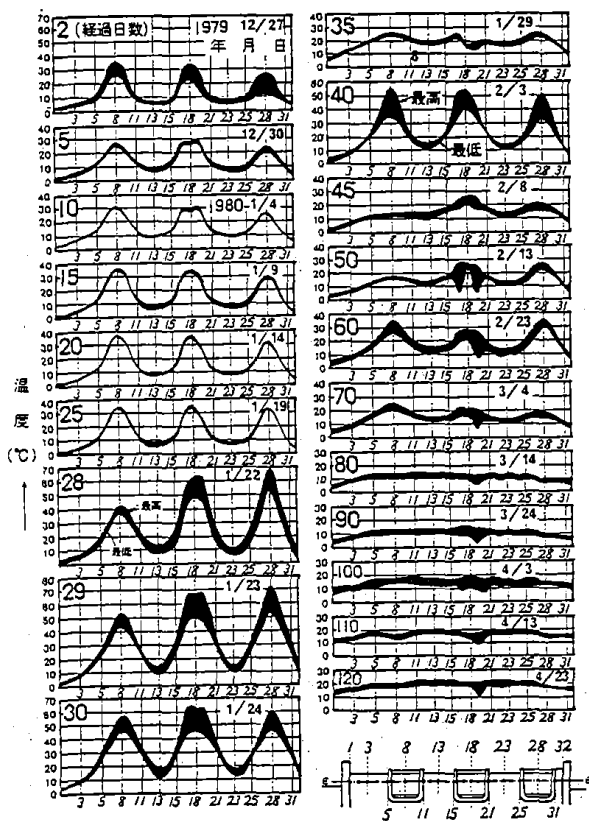


図10 測線 (土中・発酵試料中 15cm 深さ) の温度分布

cmの温度の推移、図10は測線E (深さ15cm) の温度分布、図11は測線E (深さ15cm) の土中の温度分布である。

作物栽培期間中、株下の深さ15cmの地温は常に20℃前後を維持し (隣接の対照ハウス内の地温より10℃以上高い)、ビニールトンネル内の日最低気温も0℃以上を保持した。

堆肥施用区では発芽、生育とも化学肥料区より良好であった (写真3)。

ガラス室内の炭酸ガス濃度は屋外の3～4倍の濃度を持続した。

Ⅳ 考 察

本実験は、寒冷地における温室の冬期間の暖房を堆肥の発酵熱を利用して行うことの可能性を探ることを目的として行われたものであるが、以上の結果を踏まえて実用化に向けての考察をしてみよう。

- (1) 本実験では、発酵溝に道路側溝を用いたが、実際に際しては素掘りの溝で十分である。ただし、崩壊が予想される土質の場合は崩壊防止の措置が必要であろう。

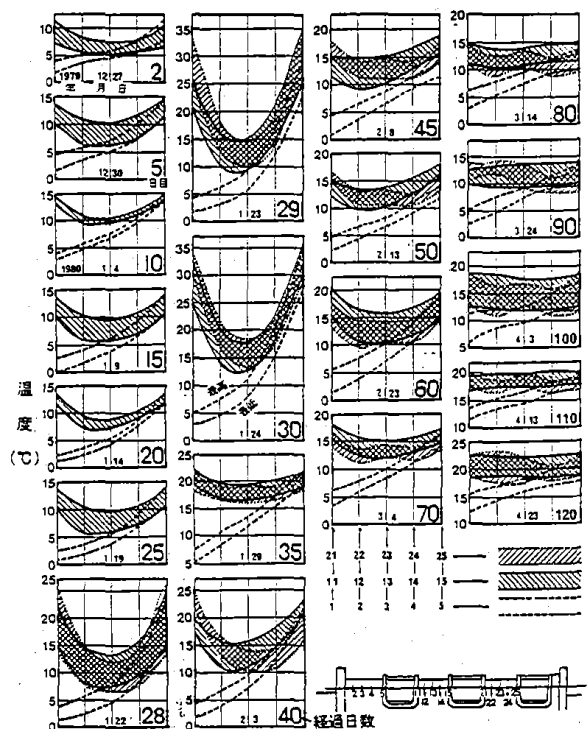


図11 土中 15cm 深さの温度分布 (O～O断面)

- (2) 発酵溝の幅および深さは60×60cm以上としたい。これより小さいと、投入物の高温熟成の持続が難しくなる。
- (3) 発酵回転ドラムによって発酵処理した投入物は処理後出来るだけ早く発酵溝に投入するようにしたい。なぜならば、高温発酵の立ち上がりが早くなり暖房効果があらわれる時間を短縮できるからである。そのためには、一回の処理量が多い大型の発酵回転ドラムを使用した方が有利である。投入に日数を要する場合には作物栽培開始までの間に数日の余裕をとることが必要であろう。
- (4) 発酵が不調の場合は悪臭の発生があるので、高温発酵を持続させるように留意する必要がある。
- (5) 12月中旬から3月中旬にわたって、日最低気温が連日零下を記録するような寒冷地においては、高温発酵の持続期間を長くすることが望まれる。また、暖房は特にハウス内温度が最低になる朝方に必要であるので図5に示すように通気調整による発酵のコントロールを行い、①昼間の発酵の進行を抑制し発酵継続時間を長くし、②朝方の最も冷え込むときに発酵試料内から暖気を効率良く放出させるようにすれば有利である。
- (6) 発酵溝上部の覆土は悪臭の発生の抑制、上記の発

酵のコントロールのためにきわめて有効である。

- (7) 発酵熱の伝導による地温上昇効果は十分期待できる。しかし、過度の温度上昇を避けるためにも、昼間の発酵抑制が必要である。畝間幅（二つの発酵溝の壁面の間隔）は1m以下にとるようにしたい。
- (8) 適切な水分管理は高温発酵持続にとってきわめて大切である。本実験では、給水管は実験開始時には図2のように覆土表面に2列（給水管a）に設置したが、かん水により覆土が飽水状態になり通気が阻害され、また発酵試料内に水が達し難いことが判ったので、2月16日に給水管を発酵試料表面に移動した（給水管a-3列）。いずれにしても、覆土表面からのかん水は好ましくないので、覆土前にかん水管を設置することが必要である。かん水は、滴下ノズルから徐々にかん水する点滴かんがい方式が適し、1日1回、タイムスイッチによりかん水時間を決めることによりかん水量をコントロールすることにする。かん水時間は試料内の定点（2～3点）の温度測定値より判断して決定すればよい。
- (9) 送風パイプは、本実験では底中央に1本設置したが、発酵試料内に万遍なく空気を補給するために2連設置の方がよい。
- (10) 本実験の結果より、発酵熱の放出によりハウス内の日最低温度を数度上昇させることが出来ることがわかったが、図5の説明で述べたようなことが起こる可能性もあるので、ハウス暖房のすべてを発酵熱でまかなうという方法は避けた方がよい。温風送風、作物生育初期のビニールトンネル被覆などを適宜組み合わせることが望まれる。また、補助暖房機と組み合わせるのも一方法である。いずれにしても一般の暖房方式によるよりも、暖房に要するエネルギーを大幅に節減することが出来る。
- (11) 高温発酵にともなって発生する炭酸ガスによりハウス内の炭酸ガス濃度が上昇するので、作物栽培の

際の光合成の促進効果も同時に期待することが出来る。

- (12) 冬期3～4か月発酵溝の中で高温熟成した発酵試料（投入量の約8割に減少）は、取り出し後そのまま熟成堆肥として農地に施用することができる。

V おわりに

本実験により、発酵熱利用によるハウス暖房の実用化につき明るい見通しを得ることが出来た。しかし、実用化に当たっての一つの大きな問題は、生産された堆肥の需要の有無である。本実験から約10年が経過した現在、十分熟成した堆肥の農地への施用の必要性に対する認識が大きな高まりを見せつつある。本研究の一環として行われている「有機物の施用が畑地土壤におよぼす影響」に関する過去9年間の実験⁵⁾からも、堆肥の連年施用により、土壌は年々①排水性、保水性が向上し、②地温が安定化し、③膨軟化し、④化学性も向上し、⑤生物相が豊富になり、さらに⑥作物の生育も良好で、特にT/R比（葉重／根重）が小さく根部が健全であること、そして、これらは特に堆肥被覆区においてより顕著であることが観測されている。

さらに、化石エネルギーの枯渇とエントロピーの増大の抑制が地球規模で大きな問題として取り上げられはじめた現状のなかで、発酵熱利用によるハウス暖房は実用化への一歩前進の時期を迎えたと言えよう。

しかし、この実用化にあたっては、暖房はあくまでもついでであって主目的はハウスを利用しての堆肥づくり（熟成場所の提供）という所に視点を置く方がよりよいと考える。

本実験を行うに当たり、牧田元男氏（故人）、池上洋介氏、西口猛氏、信州大学農学部森林工学科農業工学研究室の専攻生、その他多数の方々にご協力とアドバイスをいただいた⁶⁾。ここで、心より感謝申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 酒井信一：農山村からリサイクル社会を構想する，信州大学環境科学論集，第10号：pp.55～85，1988
- 2) 酒井信一，窪田譲：農山村における未利用有機資源の活用（I）－各種有機物残渣の発酵処理について－，信州大学環境科学論集，第11号：pp.27～32，1989
- 3) 酒井信一，大泉和夫：農山村における未利用有機資源の活用（II）－堆肥の熟成（基礎実験）－，信州大学環境科学論集，第12号：pp.55～64，1990
- 4) 酒井信一：農山村における未利用有機資源の活用（III）－発酵熱利用によるハウス暖房（その1）－信州大学環境科学論集，第13号：pp.66～74，1991
- 5) 酒井信一，長谷川香織，安田和雄：生ゴミの堆肥化と農地への還元，農業土木学会誌，59巻7号：

農山村における未利用有機資源の活用 (Ⅳ)

pp.21~26, 1991

- 6) 西口猛, 酒井信一, 牧田元男, 池上洋介: 発酵熱利用によるハウス暖房に関する実験的研究, 農業土木学会講演会講演要旨集, 昭和55年度: pp.426~427, 1980



写真 1

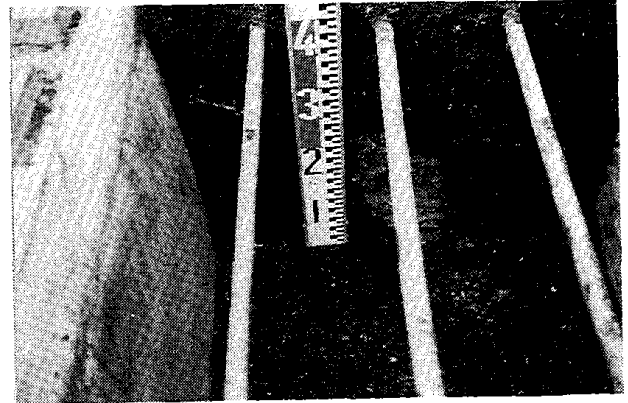


写真 2

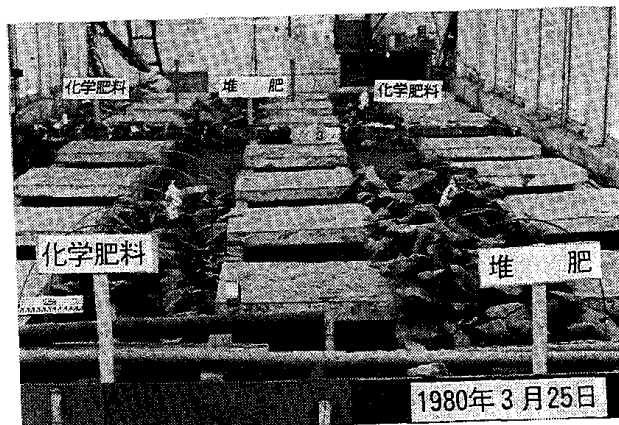


写真 3