

田んぼダムの適切な排水量調整機構

誌名	水土の知：農業農村工学会誌：journal of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering
ISSN	18822770
著者名	吉川,夏樹 宮津,進
発行元	農業農村工学会
巻/号	89巻12号
巻号補足	
掲載ページ	p. 933-937
発行年月	2021年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



田んぼダムの適切な排水量調整機構

Proper Runoff Control Mechanism for "Paddy Field Dam"

吉川 夏樹*
(YOSHIKAWA Natsuki)

宮津 進*
(MIYAZU Susumu)

I. はじめに

田んぼダムの長期的な取組み維持には、農家の継続的な参画が不可欠であるが、この一端を担うのは取組み農家のインセンティブ形成を支える施策スキームであることはすでに報告済みである¹⁾。これと両輪をなすのが、適切な排水量調整装置の採用である。普及性に富み、必要時に期待した効果が発揮される装置の設計には、綿密な計算および実験による検討を要する。しかし、排水口の孔径縮小によって効果を発揮する田んぼダムは仕組みが単純であることから、十分な検討なしに、導入の容易さのみに重点が置かれた装置が自治体、民間業者や研究機関によって開発されている。

筆者らは不適切な設計に基づく装置が取組み普及の足枷となることを恐れている。田んぼダムを導入したものの、数年で取組みがほとんど行われなくなった事例を多く知るからである。田んぼダムは十年から数十年に1回の降雨イベントに対して機能発揮を期待する取組みであるため、平時の営農に影響を及ぼす装置の導入は継続性を阻害する最大の要因となる。

本報では、排水量調整装置を機構に基づいて2分類した上で、筆者らが「適切」と考える装置のあり方を提示するとともに、事例に基づく定量的な検討によって営農面への影響と排水量調整効果の視点から比較検討する。

II. 排水量調整装置の分類と特徴

1. 機能一体型装置と機能分離型装置

筆者らはこれまで排水量調整装置を大きく「機能一体型装置」(以下、「一体型装置」という)と「機能分離型装置」(以下、「分離型装置」という)に2分類²⁾してきた(図-1)。前者は農家が日常の田面水位管理に用いる堰板等に切り欠きや孔を設けて排水量を制御するものである。田んぼダムの排水量調整と田面水位管理の両機構を同じ施設にもたせるため、一体型装置と名付けた。一方、分離型装置は、水位管理用の施設

では排水量を制御せず、いったんここを通過した地表水を排水マス等の内部に設けた孔で制御するものである。田面水位管理とは別の施設に排水量を調整する機構をもたせるため、分離型装置と名付けた。

2. 両装置の長所と短所

(1) 導入の容易性 一体型装置は、既設の排水施設に大きな変更を加えずに水田を田んぼダム化できるため、分離型と比較して導入が容易である。たとえば、排水マスが設置されている圃場では、マス前面の水位管理を担う堰板に切り欠きや孔の加工を施すことで、排水量を調整できる。そのため、新たな装置への全面的な更新は不要で、低コストで対応できる。

一方、分離型装置の導入コストは一体型装置と比較して高い場合が多い。既存の排水マス内に部材を設置する十分な空間がない場合などは、新たな排水マスに更新する必要があるほか、資材搬入や敷設作業のための重機の手配に伴うコストが発生する。

近年は農家が自ら敷設できる樹脂製の軽量装置や、既存の排水マス内部にオーダーメイドのH型調整板を装着することで分離型装置の機構をもたせる製品が開発されているため、コスト抑制は可能になりつつある。

(2) 営農への影響 排水量調整装置の設計において念頭に置かなければならないのは、田んぼダムの取組み農家が水害抑制の効用を直接享受するものではないことである。近年は多面的機能支払交付金等、導入や維持管理の費用を支援する制度が整備されているものの、取組みによって得られる便益は、河川、排水路下流域の流量ピークの低減に伴う洪水被害の軽減に限られ、取組み農家の農業生産に恩恵をもたらすものではない。また、田んぼダムは多くの場合、再現期間10年以上の降雨イベントに対する効果発現を期待するものであり、このために農家は取組みを常時継続しなければならぬ。こうした効果発現の時間スケールを鑑みれば、本来の目的である日常の営農活動への負の影響を極力小さくする必要がある。

一体型装置の最大の欠点は、田面水の流出を水位管

*新潟大学自然科学系(農学部)



田んぼダム、排水量調整機構、分離型装置、一体型装置、営農への影響、効果の安定性

理施設で直接制御する機構にある。ここでは一例として、幅5 cm × 高さ5 cm の切り欠きを施した堰板を、水位管理用堰板の上部に設置して流出孔を創出した一体型装置を考える（図-1 (a)）。この場合、管理水位に孔下端をあわせて堰板の高さを調整するため、雨水貯留によって田面水位が孔高の5 cm 上昇するまでは、流出部の幅は5 cm となる。この水位上昇は時間雨量60 mm 程度の短時間降雨でもたらされるが、この程度であれば田んぼダムの効果発現は不要である。それにもかかわらず、流出幅の縮小によって水位は上昇し、管理水位を維持できなくなる。

この問題はとりわけ中干し期に顕在化する。湛水を避けたいこの時期には、雨水の迅速な排除を目的に、田面位付近に孔下端が位置するよう流出部の高さが調整されるが、わずかな降雨でも流出が抑制され湛水が生じる。しかも、流出断面が小さいため降雨後に湛水が排除されるまで長時間を要する。

このため、湛水を嫌う農家は装置を外して排水を促すことになる。中干し期は梅雨後期に重なり豪雨発生の可能性が高いため、田んぼダムの効果が期待できる時期であるにもかかわらず、装置を外す農家が増えれば、効果は限定的となる。営農への影響を避けるため、大雨予報時のみに装置の設置を促す地区もあるが、営農とは別の作業を強いることになる。この作業に不便を感じれば、農家はそれ以降装置の設置を放棄することになる。筆者らはこうした事例を数多く見ている。こうした営農への負の影響は、すべての一体型装置に共通する特徴である。

この点において分離型装置は優位性がある。排水マス内部に孔を施した調整板を垂直に設置した例（図-1 (c)）を考える。田面水位は排水マス前面の堰板で管理し、排水量調整は排水マス内部の孔を設けた調整板が担う。管理水位を超えると田面水が堰を越えて排水マスに流入するが、排水量調整機能の発現の有無は堰の越流量と孔の流出ポテンシャルのバランスで決

まる。すなわち、越流量が孔から流出する水量を上回らない限り、排水量調整機能は発現しない。少雨時には田んぼダムを実施しない場合の田面水位変化と違いはなく、大雨時に自律的に効果発現することから、農家の日常水管理に影響しない。

これまで、分離型装置を導入している農家には、設置後に調整装置には一切触れないようお願いしている。降雨の度に田面水位が上昇する一体型装置の場合、このような要求はできないであろう。

3. 排水量調整効果と効果の安定性

前述の装置を例に排水量調整効果を考える。一体型装置の排水量の計算は、堰状態とオリフィス状態の両者を考慮する必要があるが、さらに水深に対して孔のサイズが大きいため、厳密には積分を含む計算が必要であるが、ここでは簡単のため以下の小オリフィスの式で説明する。

$$Q = Ca\sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 Q は排水量（ m^3/s ）、 C は流量係数、 a は孔断面積（ m^2 ）、 g は重力加速度、 h は水面から孔中心までの水深（ m ）である。

一体型装置の場合、降雨初期に排水量調整が始まり、5 cm の水位上昇までは堰状態で流出する。その後、完全に孔が水没するとオリフィス状態となる。流量係数 C および孔断面積 a を一定とすると、水没後の排水量は水深 h の平方根に比例する。本装置は田面水を直接制御するため、田面水位の変動がそのまま湛水深の変動となる。このため、効果発現が不要な降雨初期に排水量が小さく、排水量抑制が必要な水位上昇時に排水量が大きくなるといった期待する効果とは逆の現象が発生する。

また、降雨初期における不要な5 cm の水位上昇によって、水田の空き容量を無駄に減ずるため、避けるべき豪雨時の過剰湛水が危惧される。空き容量不足は、深水で管理する圃場で特に問題となる。

一方、分離型装置は、排水マスの深さによっても異

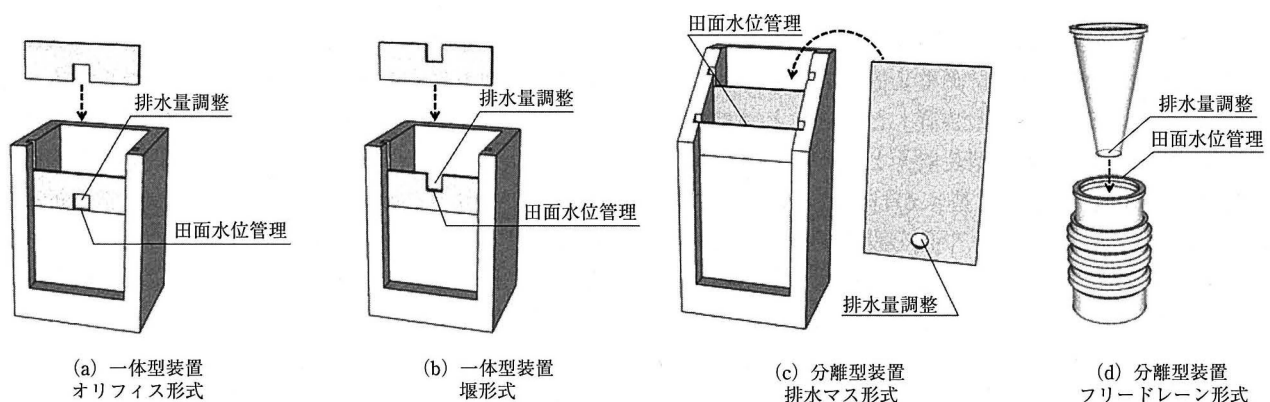


図-1 排水量調整装置の分類

なるが、堰板天端から 30 cm 程度下に孔が位置することが多い。排水マス幅 30 cm、排水量調整の孔径 5 cm の場合、おおむね 3 cm の水位上昇で排水量調整が機能し始める。最大想定降雨時（再現期間 100 年程度）の田面水位上昇を 15 cm とすると、(1) 式における水深 h の変動は 33~45 cm の範囲となる。田面水位に水位管理用堰の天端から孔中心までの深さが加わるため、水深の相対的な変動幅が小さく、排水量が安定する。このため、降雨規模や波形の影響を受けず、期待した効果が確実に得られる。こうした特徴によって、地区あるいは地域単位での排水量の設計が可能となる。

また、降雨初期においては雨水を貯留しないため、一体型装置と比較して必要時に大きな空き容量が確保できる点も特筆すべき特徴である。

III. 定量的比較

1. シミュレーションの諸元と計算方法

ここでは、近年開発された一体型装置^{3),4)}を例としてシミュレーションを実施し、営農への影響と効果発現の特徴を分離型装置と比較した。対象とした一体型装置は水位管理用の堰板に幅の異なる 2 段の台形の切り欠きが設けられており、上段の幅が大きい。大雨時の過剰湛水による水稻への悪影響を回避することを重視した設計であることが記事でも触れられている。本装置の諸元は、開発元の公表資料を参考とした（図-2 (a)）。

一方、比較対象の分離型装置は同じ排水マスの内部に排水量調整用の孔（直径 5 cm）を設けた H 型の部材を設置することを想定した（図-2 (b)）。これは田面水位管理機構と排水量調整機構を容易に分離できる部材であり、北海道東川町で実際に採用されている。

入力降雨は、中干し期の水管理の影響を検討することを目的とした時間雨量 10 mm の 3 時間連続降雨と、豪雨時における田んぼダムの効果の検証を目的に新潟県の降雨強度式から作成した再現期間 10~100 年の後方集中型 24 時間雨量（ピーク位置 0.8）とした（表-1）。なお、水田の諸元は、面積 30 a に排水マス 1 か所、減水深を 15 mm/d とした。

一体型装置の管理水位は切り欠き下端とし、中干し期においては田面に切り欠き下端を一致させることとした。実際には田面より深い位置に設定することも想定されるが、流出幅を狭めることに変わりはなく、また、下端位置を下げるほど大雨時の排水量調整の効果は小さくなる。なお、中干し期に一般的に行われる溝切り等の影響は、ここでは考慮しない。

堰板および切り欠き部における流量は以下の堰の公式を用いた。

$$Q = Kbh^{\frac{3}{2}} \quad \text{.....(2)}$$

ここに、 Q は排水量 (m^3/s)、 K は堰の流量係数 (JIS B 8302)、 b は切り欠き幅 (m)、 h は切り欠き下端を基準水面とした水深 (m) である。シンプソン法による数値積分で切り欠き部からの流出量を計算した。分離型装置については、堰からの流出量に加えて (1) 式によって孔からの流出量を並列に計算し、値の小さい方を水田からの排水量とした。田面水位の求解にはルンゲクッタ法を採用した。

2. 計算結果

(1) 少雨時の結果 分離型装置は少雨では排水量調整機能は発現しないため、田んぼダム非実施水田の水位変動と寸分変わらない（図-3）。ピーク水位は 2.4 cm、排水時間は約 21 時間となった。一方、一体型装置のピーク水位は 2.8 cm で、分離型と大きくは変わらないものの、排水完了までに 2 倍以上の約 44

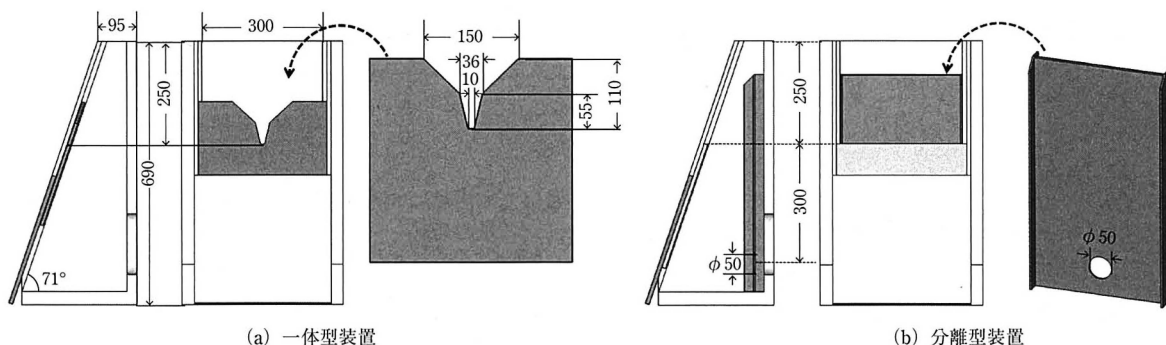


図-2 定量的比較に用いた装置（単位は mm）

表-1 入力降水量

再現期間	10 年	20 年	30 年	50 年	70 年	100 年
24 時間雨量	129 mm	154 mm	170 mm	191 mm	205 mm	222 mm
60 分最大雨量	49 mm	58 mm	63 mm	70 mm	75 mm	80 mm

時間を要する結果となった。

中干し期においては、計算開始時は無湛水であることを想定するため、排水継続時間は湛水が継続する時間を意味する。この時期の長時間の湛水状態の継続は営農に大きな影響を及ぼす。

(2) 大雨時の結果 再現期間 30 年の降雨イベントにおける田面水位および排水量の時間変化を図-4に示す。ピーク時の田面水位上昇は、一体型装置 (12.7 cm) が分離型装置 (11.5 cm) より大きく (図-4 (a)), 前者の貯水量が大きいことから田んぼダム効果も大きいように見える。しかし、機能発現が不要であるピーク前の雨水を貯留したことが余分な水位上昇を招いているだけである。このことは、一体型装置の降雨初期からピーク前にかけての排水量がきわめて少なく、ピーク直前で急激に増加していることから明らかである (図-4 (b))。

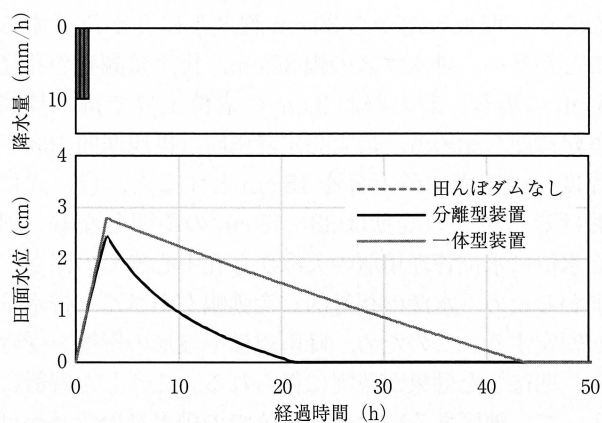
一方、分離型装置の場合、田んぼダムが機能し始めるまでの排水量は通常水田と完全に一致し、機能発現中はおおむね一定となる点に大きな特徴がある。ピーク排水量 (一体型装置: $6.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, 分離型装置: $3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$) は、一体型装置の方が約 1.74 倍大きい結果となった。

分離型装置は排水マス内部の田面より低い位置に設けられた孔によって排水量が調整されるため、田面水位の影響を受けづらく排水量が安定する。そのため、降雨規模が大きくなるほど排水量調整率が大きくなる (図-5)。一方、一体型装置は水位上昇に応じて流出断面が大きくなり排水量が増加するため、降雨規模とともに排水量調整率が小さくなる。

以上の結果から、対象とした一体型装置は切り欠き上段の流出幅を大きくすることで過剰湛水への配慮があるように見えるが、実際には分離型装置よりも大きな湛水が生じる上、ピーク排水量低減効果が小さく不安定であることが示された。営農への影響と田んぼダムの効果のいずれにおいても分離型装置が優れていると言える。

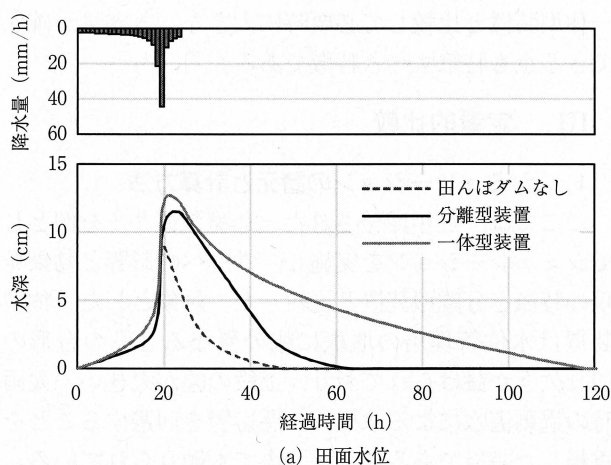
IV. おわりに

本報では、田んぼダムの排水量調整装置を一体型と分離型に分類し、その長所と短所を比較した。田んぼダムは、多くの雨水を水田に貯留することが目的ではない。営農への影響を最小限にとどめ、いかに大きな排水量ピークカットを達成するかが取組みの成功の鍵を握る。営農への影響と排水量ピークカット効果のどちらにおいても分離型装置が優れていることから、筆者らは、これまで全国各地で分離型装置の導入を強く推奨してきた。また、施設の全面更新が困難な地区に

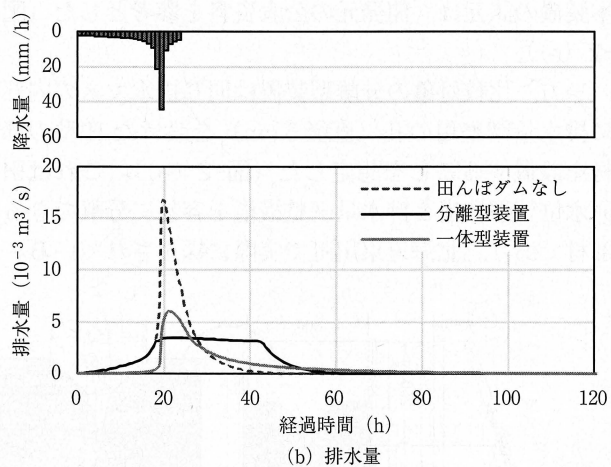


「田んぼダムなし」と「分離型装置」の水位変化は完全に重なる。

図-3 中干し期を想定した少雨時の田面水位変化



(a) 田面水位



(b) 排水量

図-4 大雨時 (再現期間 30 年) を想定した田面水位と排水量の変化

においては、既存の排水施設を分離型の装置にする方法を考案してきた。

たとえば、田んぼダムの最先端地域である新潟県見附市では圃場整備に合わせて、筒状の施設で水位管理を行うフリードレンタイプの排水装置が採用された。2010年に田んぼダムの取組みを開始した当初、水位管理装置の側面に直径 5 cm の孔を設けた一体型

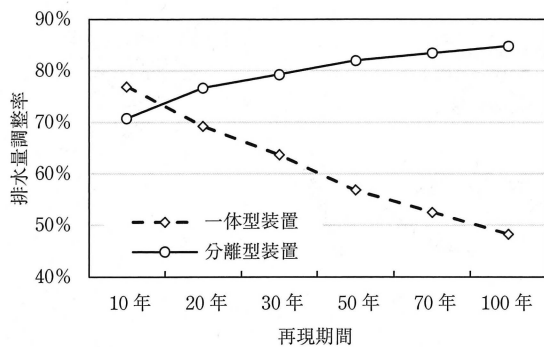


図-5 ピーク排水量調整率

装置を導入した。孔の下端で水位管理を行うものである。しかし、2011年に発生した「平成23年7月新潟福島豪雨」時に筆者らが毎筆調査を行ったところ、適切に管理されていたのはわずか38%にとどまった。中干し後という時期であったことから、筒を完全に土中に埋没させて管理しているケースや、水管理への影響を嫌って、以前利用していた孔のない施設に換装している農家が多かった。この経験を踏まえて、筆者らは大雨時に確実に機能し、平時の水管理に影響の小さいフリードレンタイプの分離型装置を開発し、問題の解決を図った(図-1(d))。現在、見附市の田んぼダム事業区域の水田1,200haすべてに本装置が設置されており、取組み導入から10年が経過した2020年現在、実施率は95%を超えている。

田んぼダムが従来の治水対策と大きく異なるのは、施設の整備(装置の設置)がゴールではないことである。すなわち、効果の規模は、取組み農家の適切な維持管理に依存し、農家の協力なしには成立しないので

ある。一方、取組み農家にとってはメリットがなく、積極的に取り組むインセンティブがない。その上、平時の営農に負の影響があれば、長期間にわたる取組みの維持は望めない。インセンティブ形成のための施策スキームに加えて、持続性を担保する適切な排水量調整装置の導入が今後の取組み普及において不可欠である。

引用文献

- 1) 吉川夏樹, 椿 一雅: 田んぼダムの持続性を支える施策スキーム, 水土の知 84(4), pp.11~14 (2016)
- 2) 宮津 進, 吉川夏樹, 阿部 聡: フリードレン方式の田区排水に適した機能分離型落水量調整装置の開発, 農業農村工学会論文集 305, pp.159~167 (2017)
- 3) 日本農業新聞: 「田んぼダム」収量守り機能発揮 豪雨対策へ簡易器具 農研機構が貯水期間で目安 (2020.8.7付)
- 4) 農機新聞: 「田んぼダム」で水田利活用 農研機構水位管理器具を開発 (2020.8.18付)

[2021.3.31.受理]

紹介

吉川 夏樹 (正会員)



1970年 東京都に生まれる
2006年 東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了
新潟大学災害復興科学センター特任助手を経て
2011年 新潟大学自然科学系准教授

宮津 進 (正会員)



1986年 新潟県に生まれる
2014年 新潟大学大学院自然科学研究科博士課程修了
農研機構研究員を経て
2019年 新潟大学自然科学系助教

(報文)

田んぼダムの適切な排水量調整機構

吉川 夏樹・宮津 進

田んぼダムの取組みの長期的な維持は、適切な排水量調整装置の採用が大きな鍵を握る。普及性に富み、必要時に大きな効果が発揮される装置の設計には、綿密な計算および実験による検討を要するが、水田排水口の孔径縮小によって効果を発揮する田んぼダムは仕組みが単純であることから、多様な装置が開発されている。しかし、開発された装置は導入の容易さに重点が置かれており、取組みの継続性への視点が欠けているものが多い。本報では、排水量調整機構を2分類した上で、筆者らが「適切」と考える装置のあり方を提示するとともに、事例に基づく定量的な検討によって、営農面への影響と排水量調整効果の視点から比較検討する。

(水土の知 89-12, pp.23~27, 2021)



田んぼダム、排水量調整機構、分離型装置、一体型装置、
営農への影響、効果の安定性