

待ち行列分析による 共同利用大型農業施設の設計

下村 義人

1. 地域農業生産における共同利用施設の今日的意義

わが国のごく平均的な農村では、農外就労が増え農業労働力の不足が深刻となっており、加えて農業従事者の高齢化が一段と進み、大半の農作業がこなせなくなっている。

したがって、他の農家の協力がなくては経営が成り立たなくなっている。農業を従とする兼業農家の農作業や経営そのものを中核的専門農家が引き受けるとともに、借地によって中核農家に農地を集積させて経営の規模拡大を実現させることによりムラの農業を維持振興するてだてとする。これが現在有力な方策のひとつとみられている。今や自分ひとりだけでは農業経営は成り立たなく、ムラ全体からみた作業的にも経済的にも効率のよい農業生産システムの構築が望まれているところである。

そのためには、分散錯圃的所有状態にある土地を団地化して利用するとか、異種経営間で労力を交換し合うなど、集落を単位とした土地・水の利用調整が話し合いのういで決められる必要があり、こうした意思統一のためには強力なリーダーシップやリーダーが求められているのである。

つまり、地域農業の担い手としての中核農家の育成、その経営的確立をめざした地域農業の集团的営農の観点からの農業生産のシステム化が今日的課題として浮かび上がってくるのである。

ここでは最も労働力を要し、その作業工程の出来不出来が商品価値としての品質に最も関係してくる収穫期の生産システムについて、そのかなめとなる共同利用機械施設の計画管理問題を待ち行列分析の観点から考察してみたい。

しもむら よしひと 佐賀大学 農学部 生産情報科学
〒840 佐賀市本庄町1

2. 共同乾燥施設の待ち行列システム・シミュレーション

水田稲作の収穫期を事例としよう。そこで活躍する施設に、ライス・センターとかカントリー・エレベータとか呼ばれる大型の建屋、あるいは数本のサイロが林立する共同利用の穀乾燥施設がある。これらの施設は地域営農のかなめとなる重要な施設だということでセンターと呼ばれている。稲作の中心的重要な施設であることをアピールしているのである。ライス・センターというのは穀の乾燥、テンパリング（放熱、一時貯溜、穀内外水分の均一化、いわゆるなまし処理を行なうこと）、および穀すりの3工程からなっている。

最も基本的な装置のレイアウトは、乾燥機、テンパリング、穀すり機それぞれ1台からなるシステムである。しかし、利用農家が増え、そのうえ、それぞれの利用農家単位に、つまり個別に処理を行なおうとすると、乾燥機やテンパリングタンクを増設する必要が生じ複数の装置からなるレイアウトとなる。しかし、他の農家の穀も混ざってよい方法をとると、品種単位に処理が可能である。この方法をとると、乾燥機の処理能力は大きくする必要はあるが、乾燥機もテンパリングタンクも少ない台数で稼働可能となる。また、乾燥機は小さくてもタンクと乾燥機の間で穀を往復させて小刻みに乾燥させるとか、堆積のため穀が腐敗するのを防ぐため通風可能なタンク、あるいはサイロを乾燥処理する工程の前に配置させるとかすることにより、荷口の滞貨を減らせるレイアウトのシステムも可能である。工学的には工夫する余地の多い面白い施設である。

実は、これらのレイアウトの長所を組み合わせた進歩的な施設が存在する。ただし工事費が高くなるという泣きどころのある施設である。それがサイロ方式のシステムのカントリー・エレベータといわれるものである。どういところが進歩しているかという、搬入された穀は荷受けサイロに一時貯溜し、サイロとサイロの間やサイ

ロと乾燥機の間をパイプやエレベータで結び搬送可能とし、また、サイロ内に通風が可能であって短期間の含高水分粗の堆積貯留が可能である。また、サイロから適時乾燥機に取り出して小刻み乾燥が行なえ、仕上げ乾燥が終了すれば本サイロに移し、ここで貯蔵し、随時粗すり出荷できる。

つまり、今ずり米としてうまい米を出荷できるシステムとしたものである。通常、荷受けや小刻み乾燥用に使うサイロは本サイロより小型のベビー（サイロとサイロの間隙を利用する）サイロが使われる。また、乾燥機は大型の高性能のものを使い、個別農家単位の処理はやめ品種単位に処理する方法をとるのが一般的である。

ライス・センターと呼ばれる施設の特徴は、乾燥調製にウエイトのかかった通常は貯蔵施設をもたない施設であって米倉庫を別にもち、別名乾燥調製施設と呼ばれる。一方、カントリー・エレベータは貯蔵にウエイトのかかった乾燥調製プラス貯蔵施設であって、乾燥調製貯蔵施設と呼ばれる。

ここではこうした施設の合理的な利用および稼働のあり方を検討し、また新たなあるいは施設の改善設計を考えるうえでの最適な規模、立地配置、処理方式をシミュレーション分析によって行なう手法を考察してみたい。

まず、このような施設の稼働状況を観察してみる。そこでは次のような特徴のある現象が見つかる。個々の農家はいっせいに適期に刈り取り作業を行なうため、粗の持ち込みが一時期に集中し、施設の稼働はオーバーワークとなっている。兼業農家は日曜祭日にこぞって作業を行なうため集中化は一層激しくなる。この現象は、粗の荷口の滞貨の行列として張り込みホッパーの前に堆積を引き起こす結果となる。

また、コンバインで刈り取った粗はダンプトラックによって搬入することになるが、その到着状況を見ると、ダンゴ状にかたまった到着パターンとなっている。過度集中もダンゴ状の到着もいずれの場合も、施設の稼働を難しくしている。刈り取りの時期の違う品種を組み合わせるとか刈り取り規制をすとかの方法をとると、施設の処理方法や規模を変えないでも、問題をいくらかは回避できるけれども、いろんな規制は利用農家側からみた場合、個別経済の独自性をそこなうこととなり、できるだけ規制は避けたい。農作業が天候まかせで不確実であること、先の集中性は基本的にはなくせない。搬入についての自由を認めれば認めるほど集中性とランダム性は強まり、施設運営の困難さが増すのである。ここに、地

域農業の集団的営農の難しさがある。

ところで、乾燥施設に持ち込まれる粗の荷口の到着の状況は、天候や刈り取り脱穀の方法、品種統一の進み具合、個別処理の割合、圃場からの運搬方法や施設までの距離によって変化するが、特に品種の数が多いたか、刈り取り方法が何種類もあるといった条件が強ければ強いほど、到着量や時刻はまちまちとなり不確実となるのである。極端な場合には、持ち込まれる粗の含水率、品種、数量等が種々雑多となって、粗の荷口の到着はランダムになってしまう。ランダムな到着の場合には、利用農家の要望を完全に満たそうとすると施設は大規模化し、投資額は膨大となって施設側の経済的負担は増大するのである。

ところで、ライス・センターやカントリー・エレベータの稼働を待ち行列システムとしてみた場合には、次のような興味ある特徴がみられるのである。

1) コンバインで刈り取った生粗（35%前後の含水率）は麻袋等に入れて積んでおくと、一昼夜で発酵腐敗を起こす。したがって、荷受け処理が詰まってしまっただけ待たせておく時間には制限時間がある。

2) こうした事情から通常生粗はハゼ掛けあるいは地干しといった方法による予備乾燥を行なった半乾粗（17~20%の含水率）よりも優先して処理される場合が多い。

3) 荷受けホッパー（粗の投げ込み口）の前の粗の荷の待ちスペースによって滞貨量が制限される。すなわち、待合室に制限のあるシステムである。

4) ライス・センターでは、乾燥機を出た粗はテンパリングタンクに到着すると同時に、テンパリング処理を開始する即時系（待ちを許さない系）をとる。

5) ライス・センターの粗すり機の前の工程のテンパリング処理タンクは、滞貨でタンクが全部使われている場合には、仕上げ粗を入れるタンクがなく、次の粗すり工程に進めず、稼働が停止されるブロッキング現象が生じる。同様に、施設全体のブロッキングの場合は、その全段の収穫のサブシステムのコンバインや刈り取り機、あるいはダンプトラックや軽トラック等の稼働を停止させることになる。

6) 個別の農家単位に処理を行なうと荷が小口化するので、乾燥機は稼働可能な数量に達するまで処理が行なえない。すなわち集団サービス系となる。

施設側からみて合理的な稼働をさせるために、栽培方法や品種を統一したり、収穫日時を指定したり、搬入量

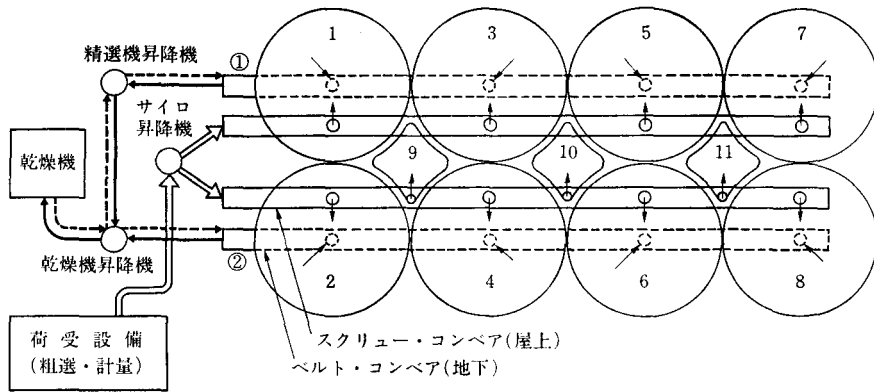


図1 カントリー・エレベータ装置概略図および荷受・乾燥工程図

注 1) 精選, 扱すり, 粒選工程をのぞく

2) 中継昇降機, 中継ベルト・コンベアを省略

を割り当てたりして計画的に運営するケースがでてくる。その場合、粒の荷口の到着パターンは当然無条件な場合とは違ってくる。その変わり方には特徴があって、おおよそ次のようになる。

1) 計画化や利用の組織化がほとんど行なわれていないか、あるいは行なわれていてもその度合いがごく小さい場合には、到着パターンは当然ランダム到着となる。無条件に近い場合には計画化組織化のされかたの度合いに応じて到着時間間隔は指数分布のパラメータに差がでるが、分布型そのものは変わらない。

2) 計画化組織化がある程度進むとランダム性は弱くなって、分布型がアーラン分布に変わり、計画化組織化の度合いに対応して分布型の位相の値が変わってくる。計画化組織化が進展するのに比例して位相の値は大きい方に動く。この動きは利用農家側にとっては強制と犠牲とを強いる方向でもある。

3) 完全に計画化されると、たとえば、特定の時間に到着するように義務づけられる場合には、レギュラー到着に近くなる。ただし、完全計画のもとでも機械の故障や降雨といった不確実性のある限りレギュラー分布からは離れる。

さて、収穫機および粒の乾燥調製（貯蔵）施設の稼働を待ち行列システムとしてモデル化できれば、モンテカルロ法によるシミュレータが作成可能となる。このモデルは粒の荷口の「到着」に関するサンプリングを行なう部分と、いくつかのサブシステムからなる乾燥施設の「サービス機構」の部分とで構成される。システム全体の制御は、粒の到着荷口の状況のフィードバックされる情報をもとに、分荷制御されることにより行なわれる。たとえば、複数の処理方法や処理能力の異なる施設からなる大規模なシステムの場合、制御しやすい方法のひとつに、サブあるいはメイン施設で予備乾燥を行ない、一時貯溜後、メインの施設で仕上げ乾燥する方法がある。現実に北海道の十勝にこの種のシステムがある。この場合のシステムは多段型複数「窓口」（扱い者）の待ち行列システムとなる。

粒の荷口の到着の特性は、層化サンプリング（複数の条件を考慮）によって決める。その特性は収穫期の利用状況、すなわち、利用組織のあり方や運営のやり方等によって変わってくる。一方、サービス機構は複数の窓口、つまり乾燥機からなり、場合によっては処理方法も異なる乾燥機からなる。また、容量や広さに制限のある

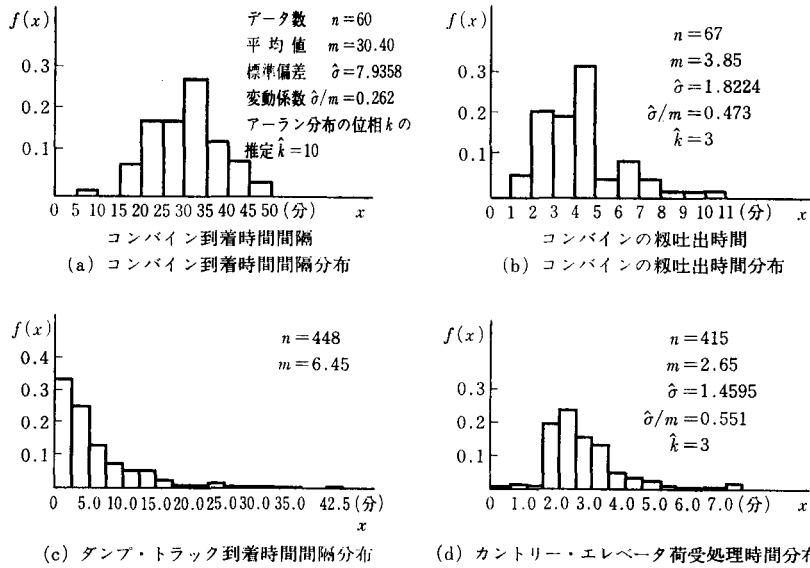


図 2 コンバイン、ダンプ・トラック、カントリー・エレベータの到着とサービス分布

表 1 カントリー・エレベータ荷受工程 $M/E_k/1 (\infty)$ の待ち行列諸量

カントリー番号 月/日	1号 10/2	1号 10/3	2号 10/3	1号 10/4	2号 10/4	2号 10/5
平均到着時間間隔 $(1/\lambda)$ 分	7.641	6.119	12.901	4.808	11.970	3.800
平均サービス時間 $(1/\mu)$ 分	2.404	2.448	2.963	2.388	2.756	3.112
トラフィック密度 $(\rho=\lambda/\mu)$	0.315	0.401	0.231	0.496	0.232	0.819
到着率 (λ)	0.131	0.163	0.078	0.208	0.084	0.263
サービス率 (μ)	0.416	0.409	0.338	0.419	0.366	0.321
平均待ち時間 (w_q) 分	0.736	1.222	0.508	1.564	0.437	9.400
待ち行列の平均長さ (L_q)	0.096	0.199	0.040	0.325	0.037	2.474
システムの平均長さ (L)	0.411	0.600	0.271	0.821	0.269	3.293

注) $w_q = \frac{\lambda}{2(1-\rho)} \frac{1}{\mu^2} \left(1 + \frac{1}{k}\right)$

$L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} \left(1 + \frac{1}{k}\right)$

$L = \frac{2k\rho - \rho^2(k-1)}{2k(1-\rho)}$

仮貯蔵タンクや土間といった待ち行列の長さ制限をもち「待合室」があり、待ち合わせ時間に制限がある。すなわち、待ち合わせ堆積による発酵腐敗・変質を生じる限界の、待ち合わせ可能限界時間がある。また、農家別、粗含水率別、品種別に小口単位に処理するシステムや乾燥機容量が一杯になるまで待つ一括処理するような「集団サービス」のシステム、あるいは生籾を優先的に処理するような「優先権のある」システムなど実際の稼働に合わせたモデル化が必要である。つまり、

汎用型のシミュレータをねらえばねらうほど、上述したような特徴を網羅的に組み込む必要がある。筆者はこの種のシミュレータをC言語を使って試作してみた。

3. 待ち行列分析の適用例

1) 八郎瀧干拓地

秋田県の八郎瀧干拓地のカントリー・エレベータは粗の受入量 5,000 t (乾燥粗) のものが4施設で、1施設の1日当りの粗受入量は 200 t であった。乾燥機は容量

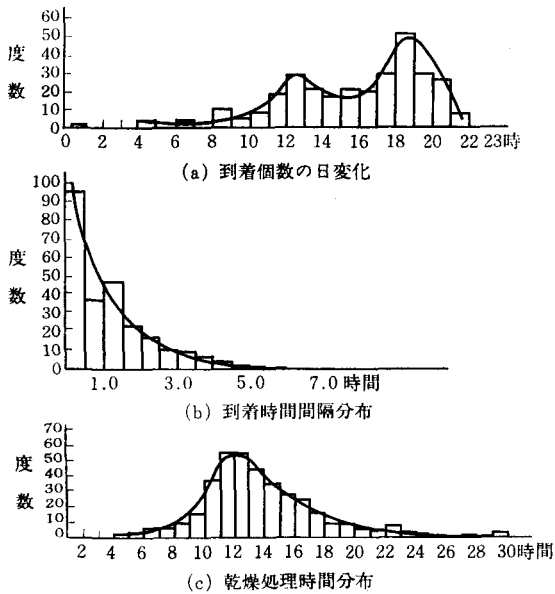


図3 ライス・センターの粳到着パターンと乾燥処理時間分布

11.2t が2基で主サイロは500t が10基、間隙サイロは130t が4基である。図1にカントリーの装置の概略図と工程図を示す。入植者は86戸で1戸10haの配分を受け、6戸の60haでもって1農場を形成し、1農場単位にコンバイン(刈幅3-4m級)1-2台、ダンプトラック(生粳2t積)2台で刈取り、脱穀、運搬を行なう。トラックは距離のある農場では、さらに1台借り受け3台で運搬を行なっている。品種は2種に統一されている。カントリーから農場まで平均して約20kmの距離がある。コンバインの到着分布、吐出時間分布、ダンプ・トラック到着分布、カントリー荷受処理時間分布(トラック・スケールによる荷受量の測定、張込みホッパーへの積下などの荷受時間)は図2(a)-(d)の通りであった。到着分布はランダム到着の指数分布としてとらえられることからケンドール記号で $M/E_k/1$ とした待ち行列分析結果は表1の通りであった。2号カントリーの3, 4日は荷受最大処理能力の25%と低稼働の日であり、一方、1号の3, 4日、2号の5日は能力の90%のフル操業に近い日である。2号カントリーの5日は平均待ち時間9.4分、待ち行列の平均長さ2.5台の渋滞がみられる(位相 $k=3$ とする)。実際には10台以上の渋滞も珍しくなく、サイロの増設が検討された。ちなみに、渋滞が10.6台となるのはトラフィック密度0.944のときで平均到着時間間隔3.3分の条件のときである。

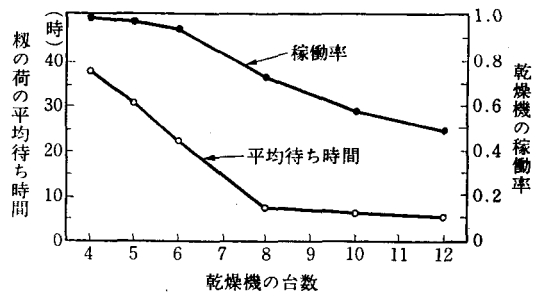


図4 乾燥機台数と粳の荷の平均待ち時間との関係および稼働率との関係

2) 大村市

長崎県大村市北部地区において良質米として開発されたヒノヒカリ、ユメヒカリを作付面積の2/3程度まで更新し、適期収穫により品質を高め、この品質を保持貯蔵でき、今ずり米の出荷の可能なカントリー・エレベータの導入をはかり、消費者ニーズに応えたいとする計画である。対象地区の機械施設の導入状況を見ると、耕うん機、トラクター、田植機、刈取機、コンバイン(自動脱穀型)等の個人所有が圧倒的に多く、これが過剰投資となっている。そのため生産組織化と、共同利用機械施設の導入による構造改善を実施して機械施設のこれ以上の導入を抑制して、利用効率のよい適正規模へと誘導することにより、適正投資をはかっていく計画である。本市の南部地区にはすでに農業協同組合有の利用組合が運営するライス・センター1施設がある。この施設の概要は次の通りである。水稲の収穫方法にバインダーによる掛け干しと地干し、自脱コンバイン刈りの3種があり、搬入量は30%が生粳(コンバイン刈)で70%が半乾粳である。

したがって、粗含水率は広い範囲にわたっている。しかも荷口は1戸当り作付面積40-50aと小規模であるため、張込み1単位は少量となり荷口はきわめて多くなる。取扱品種は6種で搬入は各自農家のトラックを使い1台500kg(ほぼ10a分)、1台のホッパー張込みに平均して15分かかっている。製品倉庫はなく検査のある1週間ごとに15kmほど離れた農協本所に業者に依頼して搬送してもらっている。ここでの待ち行列システム分析は2通り行なう必要がある。1つは現行の6品種にもよる多品種で含水率の異なる小口の粳の荷受けおよび個別農家単位の処理に対応したライス・センター方式の分析、もう1つは基盤整備を強力に進め普通型のコンバインを集落単位に導入して、品種を2-3種に統

一し、他の農家の粳の混合をゆるす品種単位の処理を採用するカントリー方式の分析である。前者の分析に使ったデータおよびシミュレーション結果の一部を図3から図5(a)~(c)に示す。検討結果、将来稲作を稲専業中核農家にまかせ、ういた労力を施設型のイチゴやミカンに向けその部門の専業経営を振興し、また、農協を中心とした広域機械利用システムを確立するというビジョンをた

てカントリー方式が最適と判断し、シミュレーション結果を参考として規模方式を決定した(50t×8基の仮貯溜ビン、250t×8基、70t×3基のサイロ、乾燥機1基)。ちなみに方式はサイロを建築費の安いスチール製サイロとドライストア方式の通風可能な一時貯溜方式を採用した。設計平面図を図6に示す。

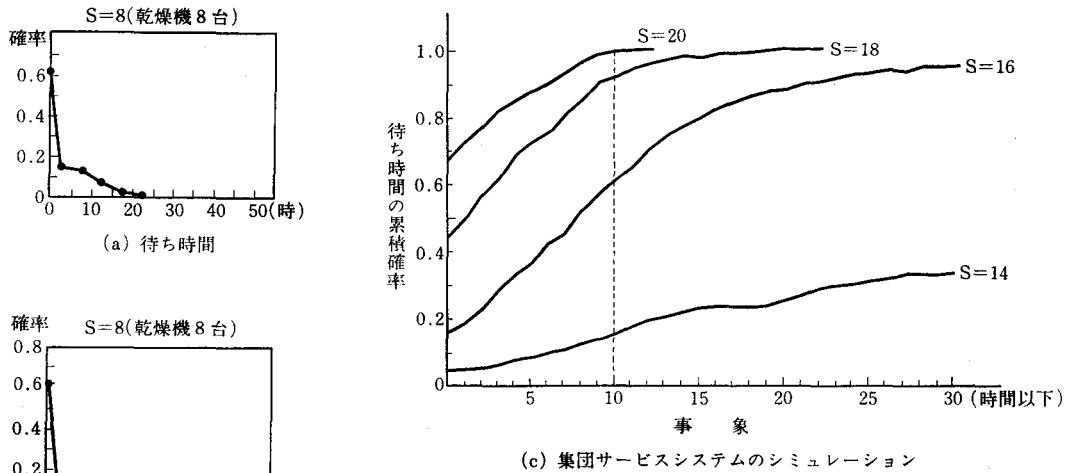


図5 ライス・センターの待ち行列システムのシミュレーション結果
注) 規定の量に達するまで乾燥処理しないで待機させ、規定の量に達すれば一度に処理するシステム。Sは乾燥機台数。

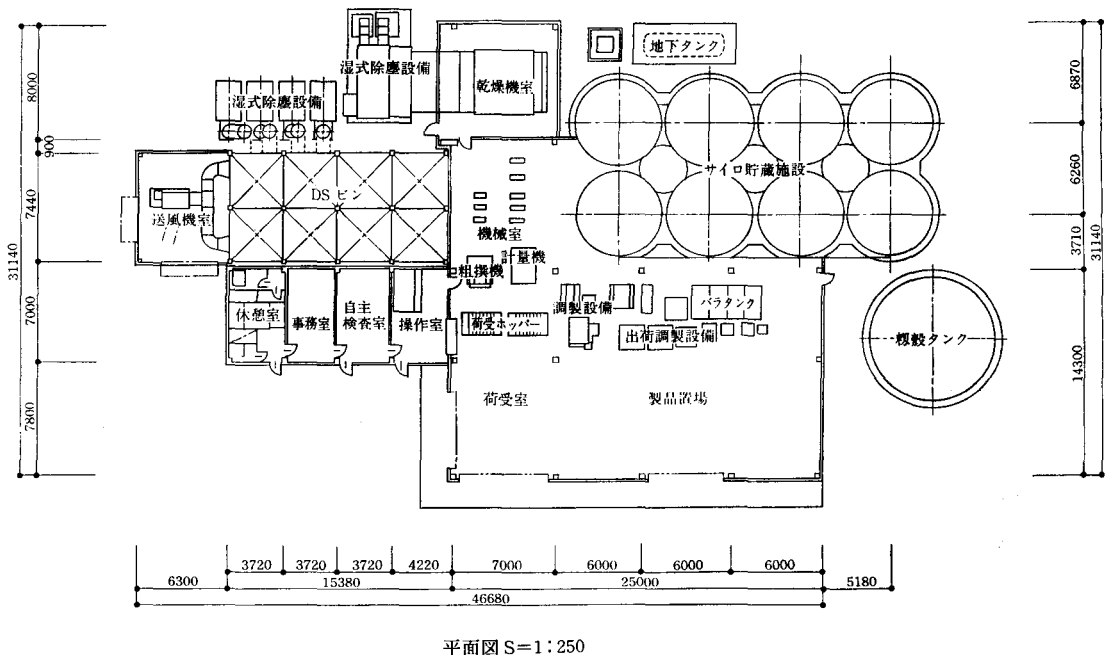


図6 大村市のカントリー・エレベータの設計図