

# COMPACT AGRICULTURE

テクノロジーでつくる循環型農業

「COMPACT AGRICULTURE」構想

構想：大林組プロジェクトチーム



# I 構想の背景

現在、日本の農業は危機的状況にあると言わざるを得ない。その最も分かりやすい事象が農業の担い手の減少だ。一九六五年に一一五〇万人いた農業就業人口は、二〇一八年には一七五万人となり、この五〇年間で八割以上も減少した。その担い手の高齢化も進んでおり、六五歳以上が約七〇%を占める。新たに就農しても約七割は農業だけでは生計が立てられず、新規就農者の三割は生活が不安定であることから五年以内に離農している。さらに農業の労働環境は「きつい」「汚い」「かつこ悪い」と、俗にいう「3K」のイメージを払拭できていないのが現状だ。だが農業は、食料自給率や必要栄養摂取量など国民生活の根本に関わる最重要な産業の一つでもある。現状をそのまま見過ごしてはならないはずだ。

しかし近年、農業分野の技術革新はめざましい勢いで進み、ロボット技術やICTなどの先端技術を活用した次世代の農業も始まっている。この技術革新の波は世界中で進行しており、たとえばオランダは政策転換に加えIT技術を駆使す

ることで、世界第二位の農産物輸出国にまで成長した。本来農業は、天候はじめ周囲の自然環境に大きく左右される不安定なものであるが、生産現場に行かずとも、コンピュータを操作するだけで農場全体を管理し、田の水温、水量のコントロール、最適なタイミングでの農薬散布ができ、農業ロボットが収穫するような世界は現実のものとなっている。農業生産のための革新的な技術が次々と開発され、農業は従来の3Kのイメージからは大きく変化し始めている。

一方、人間と食料の関係では、近年新たな社会的問題が生まれている。生産から消費までのさまざまな過程で生まれる食品廃棄物や、まだ食べられるのに捨てられている食べ物、フードロスの問題だ。日本国内における年間の食品廃棄量は、食料消費全体の約三割（二八四二万トン）におよぶ。このうち、フードロスは約六四六万トン。世界でも、食用に生産された食料の約三分の一が無駄になり、廃棄されている。こうした農業を取り巻く社会的問題も、消費者個々のニーズを、

ビッグデータ解析などの技術によって正確に把握できるようになれば、無駄のない生産を行い、食品廃棄物、フードロスの発生抑制にもつながっていくかもしれない。これは、「もったいない」という時代の要請にもかない、サステイナブルで環境負荷の少ない循環型社会の構築も寄与する。

農業に関する技術は生産の自動化だけではなく、収量や耐性の向上、育成や収穫のしやすさ、さらには味わいや栄養素の含有量まで、農林水産物の高付加価値化の面でもめざましい発展をしている。

これらの技術革新が完成したとき、未来の農業の姿はどのようなものになっているだろうか。自然環境の影響を受けない室内環境で育成し、完全機械化によって労働環境を改善、AIやビッグデータの力で必要なものを必要なだけ生産し無駄を無くす。そして、世界のどこでも、地元で生産されたものを地元で消費する。そんな未来の農業は成立しないものなのだろうか。

私たち大林組プロジェクトチームは、農

業をとりまく現状の諸問題を解決すべく、住民の自給自足に必要な食料の全てを生産できる施設を建設し、高効率農業を建物内部で完結させ、小さな面積で都市を含む世界中のどこにでも立地できるコンパクトな農業「COMPACT AGRICULTURE」

の提案を試みた。現在の農業の問題を解決し、より良い農業の姿を体现することを目標とした構想だ。

本構想の核となるのは、全自動の食糧生産システムが稼働する「食糧工場」と、人が生活する場とが共存する建築物であ

る。また、それらすべての建物で食糧を安定供給するため、エネルギーの自立や資源の完全循環を目指して、建物内部に完全機械化された理想的な食糧生産システムを構築するという計画だ。

## II 「COMPACT AGRICULTURE」構想

### 1 営農コンセプト

#### ◎生産物と生産量の想定

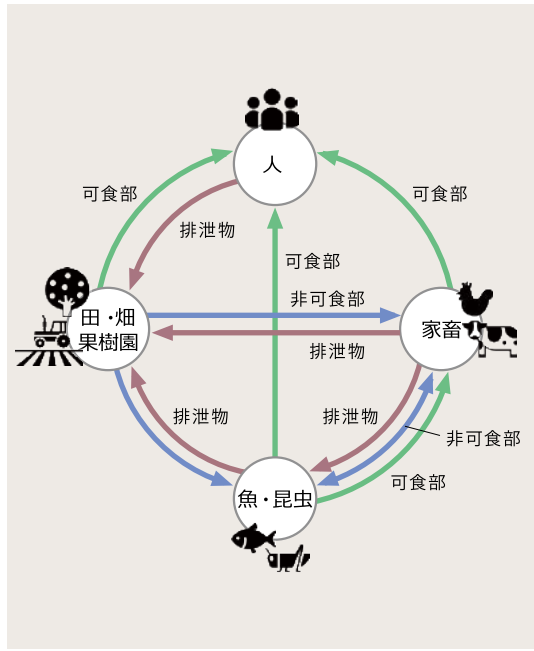
農業生産を考えるにあたっては、まず何をどれくらい生産するのかを想定する必要がある。本構想では、世界中のどこでも対応可能な営農の姿をめざすが、ここでは、厚生労働省が定めた「日本人の食事摂取基準」を参考に、一八〜六九歳の推定平均必要栄養素量から生産量を想定することとした。実際には地域により摂取食糧の内容は多種多様だが、食糧の内容や量が変わっても、作付けボリュームやエネルギー確保の方法を変更することによって対応することは可能と考えた。また生産する農産物も、現状のものとは収量、

形状、含有栄養素などが異なることも想定した。

「日本人の食事摂取基準」に定める必要栄養素量を参照すると、現状の摂取量はタンパク質、脂質が過剰で、カルシウムなどは不足している。現在、タンパク質は牛、豚などの家畜から摂取するのが一般的だが、それを除いても、鶏や魚などでタンパク質、脂質を十分に摂取できるほどだ。また、感受性を持つ生物である家畜が、できる限りストレスを感じずに健康的な生活ができる畜産のあり方としてアニマルウェルフェアが重視されはじめているが、そのガイドラインを基準とした場合、養牛・養豚を行うためには、

今以上の生産面積が必要となる。これらのことから、養牛・養豚は行わないこととした。

前述のように現況の摂取量から牛肉と豚肉を除いたとしてもタンパク、脂質とも十分摂取できるが、牛乳を除いてしまうと、カルシウムの摂取量が著しく不足することが問題となる。そこで、新たな栄養源として注目され始めている昆虫を中心にカルシウムを摂取することを考えた。昆虫は現代の日本では一部を除いて馴染みの薄い食材だが、栄養価が高く生産効率も非常に良い。二〇一三年にはFAO（国連食糧農業機関）が「昆虫は栄養価が高く採集も容易で、世界の未来のために



理想的な食料になる」と、昆虫食を推奨する報告書を発表したほどだ。カルシウムについては昆虫からの摂取以外にも、野菜や大豆のカルシウム含有率を高めるなど、特定の栄養成分含有量を向上させた高機能作物で補填することも想定した。

以上のことより、生産の効率性やアニマルウェルフェアの観点、建築物のコンパクト化を図るため、本構想では養牛・養豚は行わず、新たに昆虫を飼育し、栄養価をコントロールした高機能作物を栽培することとした。

### ◎物質の循環

## 一一循環システム

本構想では、建物内で自立する農業システムの実現を目指している。このため、物質やエネルギーが循環する仕組みについても考える必要がある。つまり、物質を生産して人が消費し、そこから排出された物質を回収するという循環のプロセスを再構築するという提案である。そのためには、「回収技術の導入」と「生産と消費の近接」により、人の営みを自然環境の条件から切り離し、持続的な農業生産を実現しなくてはならない。

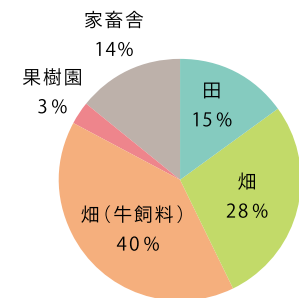
### ◎生産効率の想定と生産面積

技術の革新によって作物の生産効率が上昇するが、この予測は極めて難しい。このため本構想では、各作物の生産効率を無意味に引き上げて想定することはせず、すべての作物において、現況の世界トップの生産効率を人工環境下で実現することを目指した。

単位収量第一位の例としては、米はオーストラリア、小麦はアイルランド、芋はアメリカ、トマトやナスははじめ果菜類はオランダなどだ。さらに、人工光による植物工場の最適な環境設定での栽培をすることにより、それぞれ限界まで作回数を増

やせるものとした。

農林水産省が発表している国民一人あたりの供給純食料などのデータをベースに現況の生産面積を算出すると、一人あたりの食糧生産に必要な土地利用面積は七〇〇平方メートルとなる。現況の割合は、飼料生産用の畑が四〇パーセント、家畜舎が一四パーセントとなり、畜産物生産の土地利用負荷が大きい。牛と豚以外



### 1人あたりの食糧生産面積

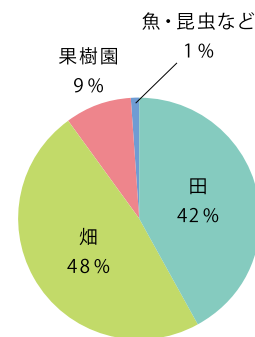
現状	面積(m <sup>2</sup> )
田	104
畑	195
畑(牛飼料)	282
果樹園	22
家畜舎	98
合計	700

\*農林水産省の年度別食料需給表(平成26年度確定値)の1人あたり供給純食料の数量から、生産に必要な面積を算出

### COMPACT AGRICULTURE

	面積(m <sup>2</sup> )
田	27
畑	31
畑(牛飼料)	0
果樹園	6
家畜舎	0.1
昆虫	0.3
魚(m <sup>3</sup> )	0.4
合計	64

\*生産効率は「FAOSTAT Production Yield 2016」のデータより、「世界1位の面積あたり収量/日本の面積あたり収量」で算出



で効率的に栄養を確保できる昆虫を採用することで、土地利用面積を大幅に削減することが可能となる。現在考えられる生産効率を最大限にあげ、生産物の内容を変えることで、将来の一人あたりの食糧生産に必要な土地面積は六四平方メートルと、約一〇分の一に削減することが可能となる。

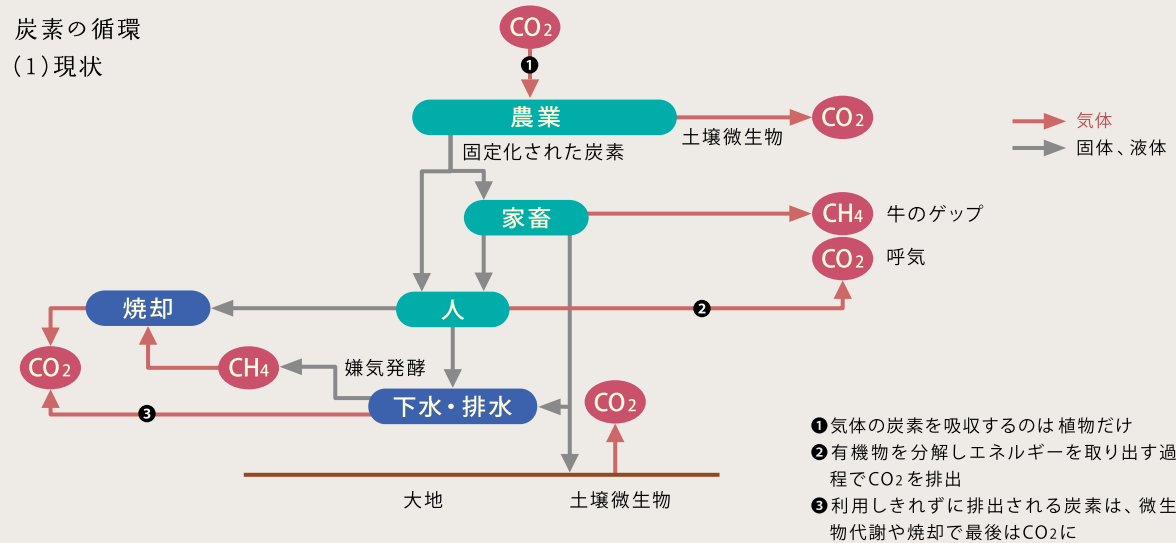
農作物を収穫した後の藁や収穫くずなどが、家畜の餌となり、その家畜の糞から堆肥が作られ、さらにその堆肥によって農作物が育つ。かつては、こうした有機資源を循環させながら農産物を生産する、循環型農業のサイクルが形成されていた。しかし、現代ではこのサイクルが崩れてサステイナブルではなくなり、また環境破壊にもつながっている。今回私たちは、この循環を建物内に再構築することを試みた。

本構想では、どのような条件下でも循環を可能にするため、システムを外部環境と完全に隔離して物質を循環させることを目指した。それを実現させるため、植物の三大栄養素であるN(窒素)・P(リン)・K(カリウム)を下水処理の途中で化学的に回収し、利用する。高度処理によって不純物を除去した水は飲料などにも使用し、水の循環も可能となる(40頁図)。作物の育成は土を使わない無機質の水耕栽培を基本とするため、かつては土を介して処理していた作物の非可食部は、養殖する昆虫・魚介・藻類の飼料として利用する。また、貝殻や卵殻の再利用も行い、カルシウムについても循環するシステムを構築し、

### 栄養素を補填する。

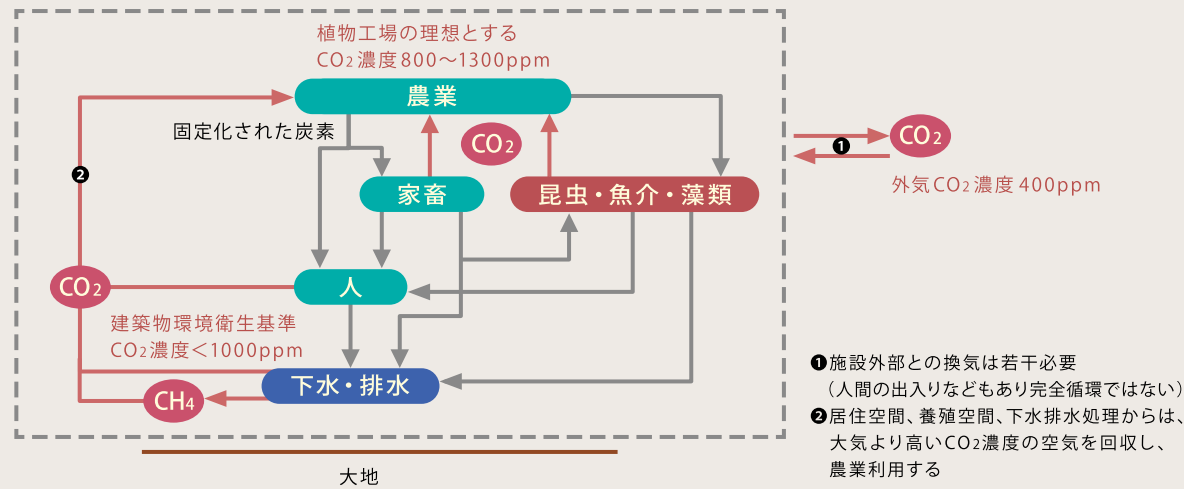
炭素の循環については、現状では農作物が光合成を行うために二酸化炭素を吸収するのみで、家畜や人の呼吸、焼却などで発生する二酸化炭素は大気に排出する一方となっている。これに対し本構想では、大気とのやりとりを最小限に抑え、有機炭素を極限まで循環するという基本方針のもと、二酸化炭素をできるだけ回収して利用する。二酸化炭素濃度を上げると光合成の効率も上がるため、人の居住空間や鶏、昆虫、魚の生産エリアなどで発生した二酸化炭素を回収し、食糧生産施設に取り入れて循環利用するシステムを構築する。また、下水処理の過程で高濃度の二酸化炭素が得られるため、こちらも濃度調整に利用する。それぞれを空気交換することによって二酸化炭素を循環利用し、生産施設を理想的な二酸化炭素濃度である八〇〇〜一三〇〇ppmに調整し、さらに効率的な農産物の育成につなげる(41頁図)。こうした「回収技術の導入」と「生産と消費の近接」によって、農業生産の条件を自然環境から切り離すことができれば、新しい農業の姿の実現につながるはずだ。

炭素の循環  
(1)現状

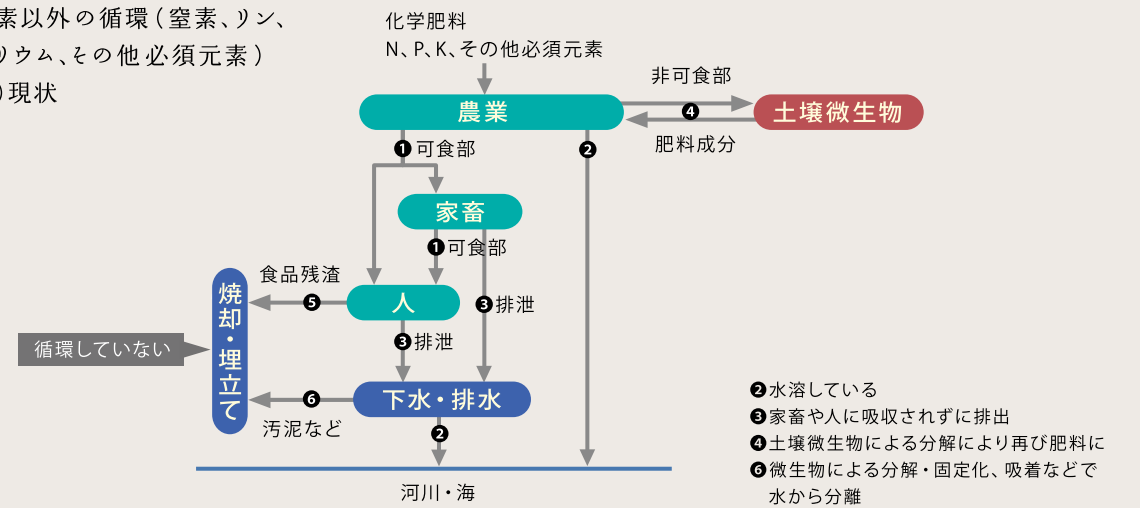


(2) COMPACT AGRICULTURE

施設内の各エリア間を空気交換することによりCO<sub>2</sub>を循環利用可能に

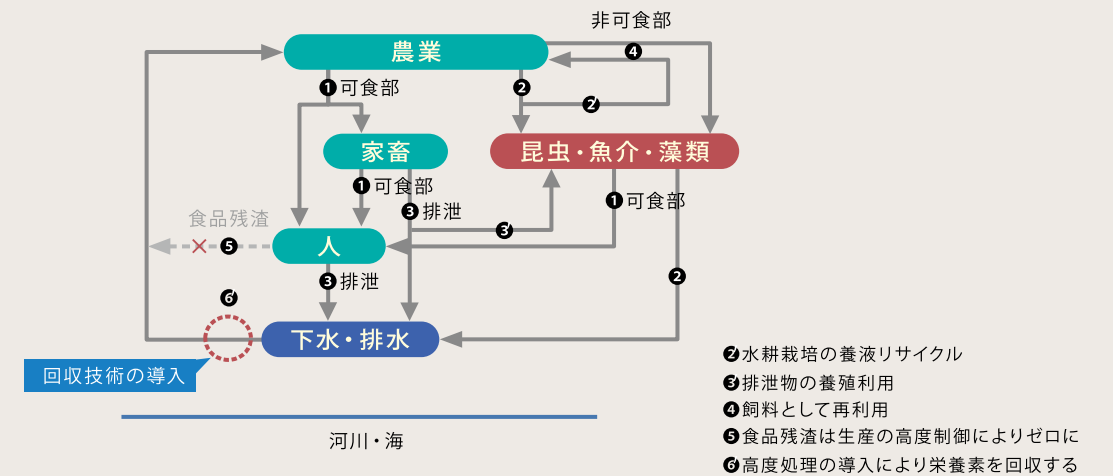


炭素以外の循環 (窒素、リン、カリウム、その他必須元素)  
(1)現状



(2) COMPACT AGRICULTURE

回収技術の導入および生産と消費の近接により、自然環境から隔絶して持続可能



再生可能エネルギーの選択肢

再エネの種類	特徴
1 太陽光発電	立地制限がなく導入できる。屋根、壁などの未利用スペースに設置可能。送電設備のない遠隔地(山岳部農地など)の電源として活用できる。量子ドット型太陽電池(効率:現時点の3倍)の利用を想定
2 風力発電	陸上と洋上で発電が可能で風さえあれば夜間でも発電可能。高効率(風の運動エネルギーの最大30~40%程度)で電気に変換可能
3 バイオマス発電	未活用廃棄物の燃料化は廃棄物の再利用や減少になり、資源の有効活用の点から循環型社会構築に大きく寄与する
4 水力発電	一定量の電力を安定的に供給可能。発電所をつくれれば、数十年にわたり長時間稼働できる
5 地熱発電	高温蒸気・熱水の再利用が可能。枯渇の心配無く、長期の供給ができる。超臨界地熱発電(地下5km程度に存在する超臨界水を利用)を想定
6 水素発電	化石燃料を使った火力発電では必ずCO <sub>2</sub> が発生し、地球温暖化の最大の原因となるが、水素発電ではCO <sub>2</sub> が排出されず地球環境に優しい。再エネからの水素製造を想定
7 波力発電	発電の安定性が高く、景観問題も少ない

◎エネルギーの循環

高度な環境管理下での営農で問題となるのはエネルギーの供給だ。現在の植物工場も、電気代がかさむことがハードルとなっている。そこで本構想では、非化石エネルギー源のうち、永続的に利用することができる再生可能エネルギー(以下、再エネ)を採用することとした。また、建物が立地する地域の特性に合わせて、ベストミックスとなる組み合わせで供給する。

本構想で示した具体的な建築計画(シテイ型、ビレッジ型)では、将来の大幅な技術革新が期待され、電力供給システムとして発電出力が大きく、汎用性が高い太陽光発電、風力発電、地熱発電を基本とする組み合わせを採択した。また再エネ発電の変動を吸収して安定供給するために蓄電所も併設し、バックアップとして、水素発電システムも備えることとした。

なお、立地条件や技術の発展によっては、今回の建築計画で採用していないバイオマス発電や水力発電も導入の可能性は十分に考えられる。その他、潮流発電、潮汐力発電、海流発電、海洋温度差発電、波力発電などについても同様だ。



### 施設概要

	シティ型(高層型)	ビレッジ型(低層型)
居住人口	10,000人	2,000人
高さ	350m 85階建て	28m 3階建て
延べ床面積	500,000m <sup>2</sup>	115,000m <sup>2</sup>
基準階	約6,000m <sup>2</sup>	36,000m <sup>2</sup>
食糧生産施設	250,000m <sup>2</sup>	50,000m <sup>2</sup>
再エネ構成		
太陽光	—	180,000m <sup>2</sup> 48GW h/年
風力	98,000m <sup>2</sup> 105GW h/年	50,000m <sup>2</sup> 50GW h/年
地熱(井戸)	27MW×2本 378GW h/年	7MW×1本 50GW h/年
水素	5,000m <sup>2</sup> 378GW h/年	2,000m <sup>2</sup> 50GW h/年

### 想定施設面積

	1人あたり 面積(m <sup>2</sup> )	段数	1人あたり 積層面積(m <sup>2</sup> )
田	27	4段	6.75
畑	31	4段	7.75
畑(牛飼料)	0		0
果樹園	6	1段	6
家畜舎	0.1	1段	0.1
昆虫	0.3	6段	0.05
魚(m <sup>3</sup> )	0.4	1段4m	0.04
合計	64		20.69
食糧生産施設			25
延べ床面積			50

ビレッジ型内観 広場とコミュニケーションスペース

本構想の想定施設面積  
1人あたりに必要な食糧  
生産面積は、現在の  
700m<sup>2</sup>から64m<sup>2</sup>に削減  
可能で、さらに積層し  
た場合は25m<sup>2</sup>まで削減  
できる。総施設面積  
合計は、1人あたりの居  
住面積25m<sup>2</sup>(共用面積  
含む)として加算した

## 三 建築計画

今回の建築計画では、世界中のさまざまな地域に建設できるように、都市で一人単位が居住するシティ型(高層型)、郊外で二〇〇〇人単位が居住するビレッジ型(低層型)を具体化してみた。いずれのタイプも、適切な内容と分量の農産物をはじめ全住民の食糧を建物内で生産する。

生産されるものは、住民の情報をビッグデータとしてAIが処理することで導き出された、必要量だけだ。食糧生産施設では、生産から収穫まで全てが遠隔操作により全自動でコントロールされ、集荷した生産物は自動搬送で各住戸へ届けられる。究極の地産地消の誕生だ。これまでの農業の姿とは大きく異なるが、産地と消費地が一体化し、建物内で生産したものは建物内で消費することを前提としているため、物質循環を可能にすることはもちろん、食品廃棄物をゼロにするほか、コストも最低限に抑えることができる。

建物が周囲地域と調和するように、食糧生産施設は建物の中央に配置し、外部に面した部分は住民が生活する居住スペースとした。これは、生産施設が栽培、育成環境を完全にコントロール下におくため、採光の考慮が不要となつて実現したレイアウトだ。同時に、居住スペースが空気層の役割も果たすこととなり、生産施設への外気温度の影響を減らすことができる。このほか、配送センターや自動搬送システム、食品加工工場なども設け、自給自足の体制をとる。また立地にあわせ、オフィスや研究施設なども配置し、建物内部で住民の生活が完結する居住環境を目指す。さらにビレッジ型では、レストランを併設するコミュニケーションスペース、広場なども設け、都市機能をさらに集約したプランとなっている。

食糧生産施設は厳密に環境がコントロールされ全自動で動くため、住民が入る事はないが、居住スペースの通路部分からは生産施設が間近に見えるように計画する。またコミュニケーションスペースには、実りや収穫を実感できる果樹や植物の植え込み、工場での食糧生産の様子を確認できるスクリーンなどを配置する。これら設備を通じて、住民が自らの食について常に意識し「マイ食糧」の感覚を持つことで、フードロスなどの抑制が期待できる。

### ◎シテイ型(高層型) 居住人口一万人

既存のビルが密集した都市に建設することを想定した高層建築タイプ。シンプルな板状のフォルムではあるが、周辺市街地との調和を考慮し、工場特有の大きな壁が立ち上がるような外観は避け、壁面緑化された六角形のメガフレームにより、環境負荷の低減を図るとともに、設備シャフトを兼用している。外壁の開口部は、バルコニーとカーテンウォールがランダムに交じり合うデザインとし、居住者の好みで窓からの景色が選択できるように計画している。生産施設の機能を集約することで、自然採光が必要な住宅などの機能を損なうことなく、超高層ビル内でも一体的な整備ができる。

高層階には、未来の交通機関を想定し、自動運転によるドローンタイプの飛行場を設置する。建物基壇部分は、賑わいを創出する広場を確保し、上部に屋上緑化を施した。

過密な都市域では、建物内や直近の周囲に電力供給施設を設けることが困難だ。従ってシテイ型では、使用する電力は近郊の海上(五〜一〇キロメートル圏内)の風力発電などから供給する。対象地域

が一万人以上の規模の場合は、増築や分散配置によりエネルギー供給も含めた建物の連携も可能となる。

### ◎ビレッジ型(低層型) 居住人口二〇〇〇人

それほど建物が密集していない郊外地域に建設することを想定。今後の拡張も期待されるため、敷地の形状や規模にあわせて配置、増築しやすいように六角形の平面を基本デザインとした。基本形状は、L字型の建物を内庭、中空をつくりながら六角形の棟配置とし、内庭を含めた建物全体を、透過型太陽光発電ガラスでつくられたドームルーフで覆っている。建物に付属する太陽光パネルの形状も同じデザインコードを採用することで、統一感のある景観を形成している。

ドームルーフは、発電機能を持つだけでなく、立地する地域の環境に合わせて、遮熱や遮光、断熱性能のある機能性ガラスと組み合わせることも可能。中央部分は空の景色が見える高透過性の太陽光発電ガラスを使用し、トップライトとすることもできる。

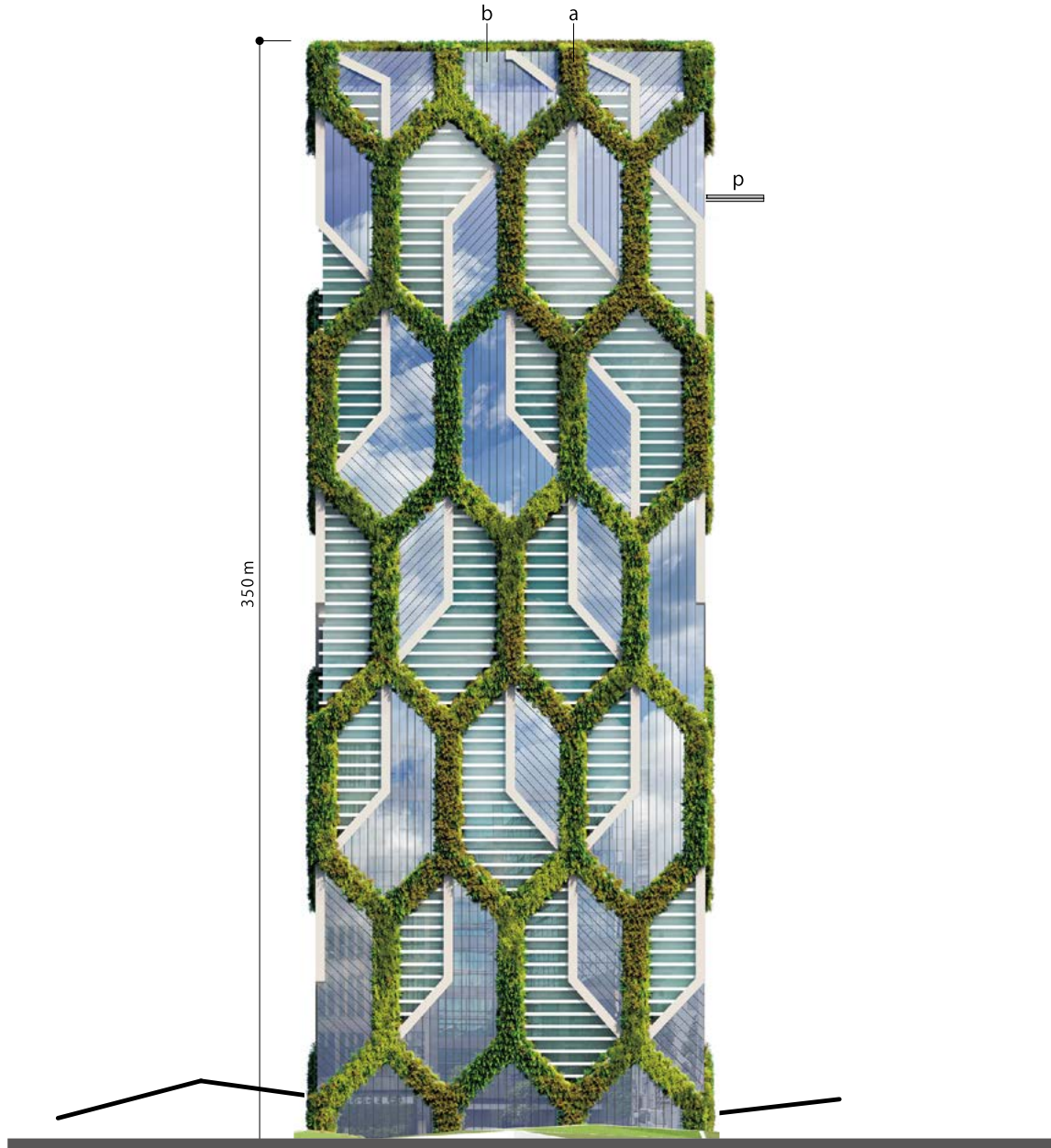
どのような気候の地域でも快適な環境の内庭では、ランニングやサイクリング、

時には池で水上スポーツなどを楽しんだり、中央の広場を使つてのイベントの開催も可能だ。根と枝が広がるマングローブ構造をもつ広場の屋根を支える柱の足元は、店舗などにも活用できる。

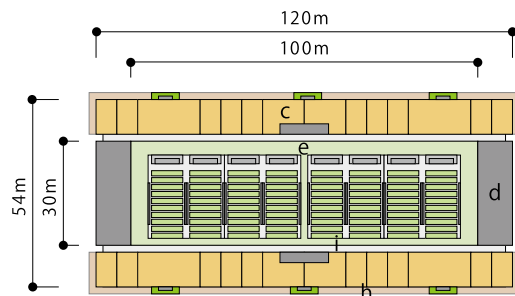
また、建物の広場に面した共有空間は、緑と野菜や果樹に囲まれたレストランやカフェテリアを設け、食育のための教育施設や体験施設として機能させる。大型スクリーンに工場のライブ映像を表示するほか、壁面にはミニ植物工場、中央には体験用の果樹を設置。旬の作物を直接手で収穫したり、果樹の成長を間近に観察することができる。前述の生産施設が見える通路に加え、この食を軸にしたコミュニティションスペースを設置することで、生産物の物の尊さなどを感じる機会となることだろう。

設置空間に余裕があるビレッジ型では、ドームルーフの発電機能だけでは供給不足になることも考慮して、屋根と建物の周囲に設置した太陽光発電システムも使用しながらエネルギー供給を行う。ドームルーフ同様、景観に配慮し、モザイク状に分節化したデザインとする。さらに不足する場合は風力や地熱発電で補うことも想定している。

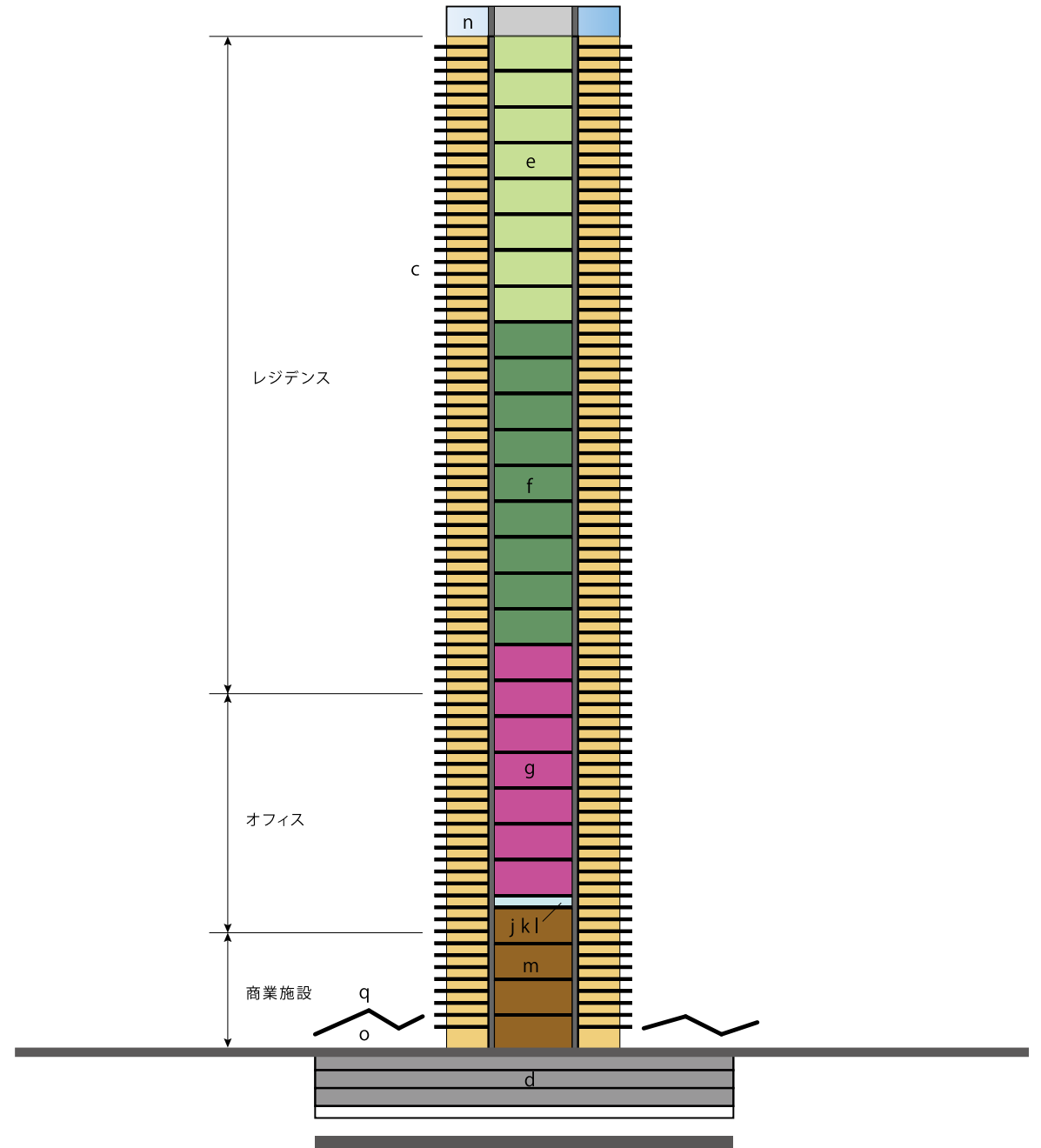




立面図



基準階平面図

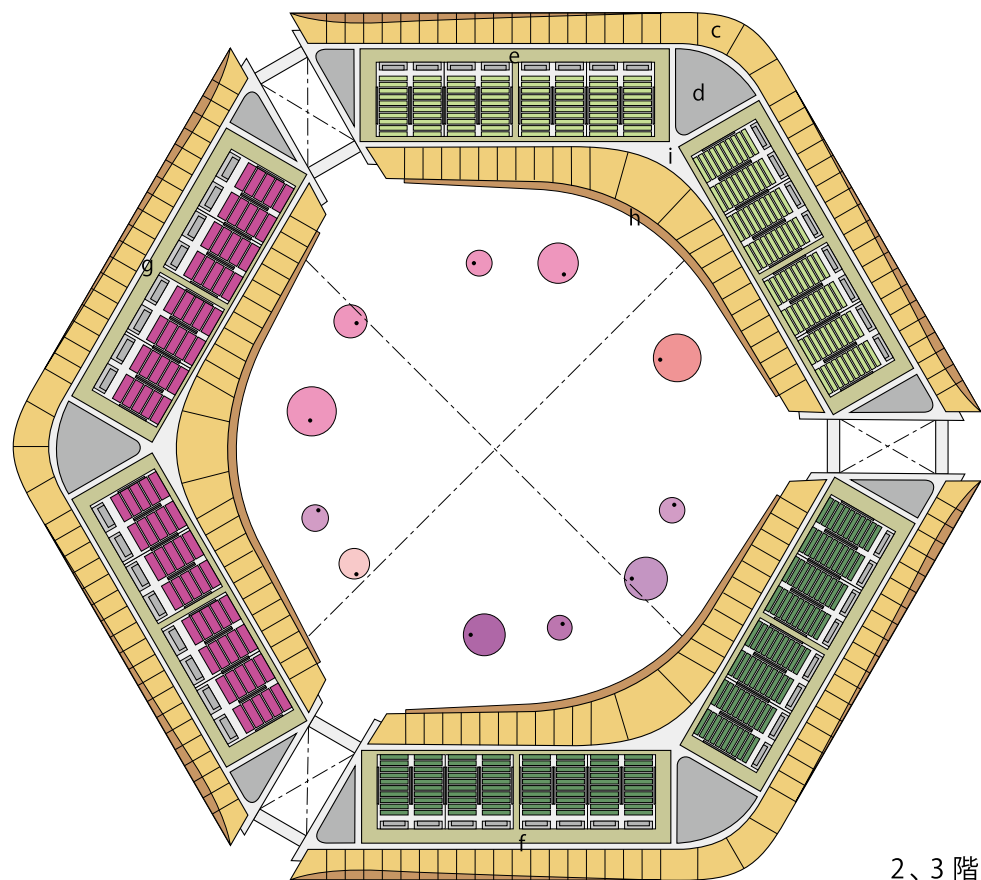


断面構成図

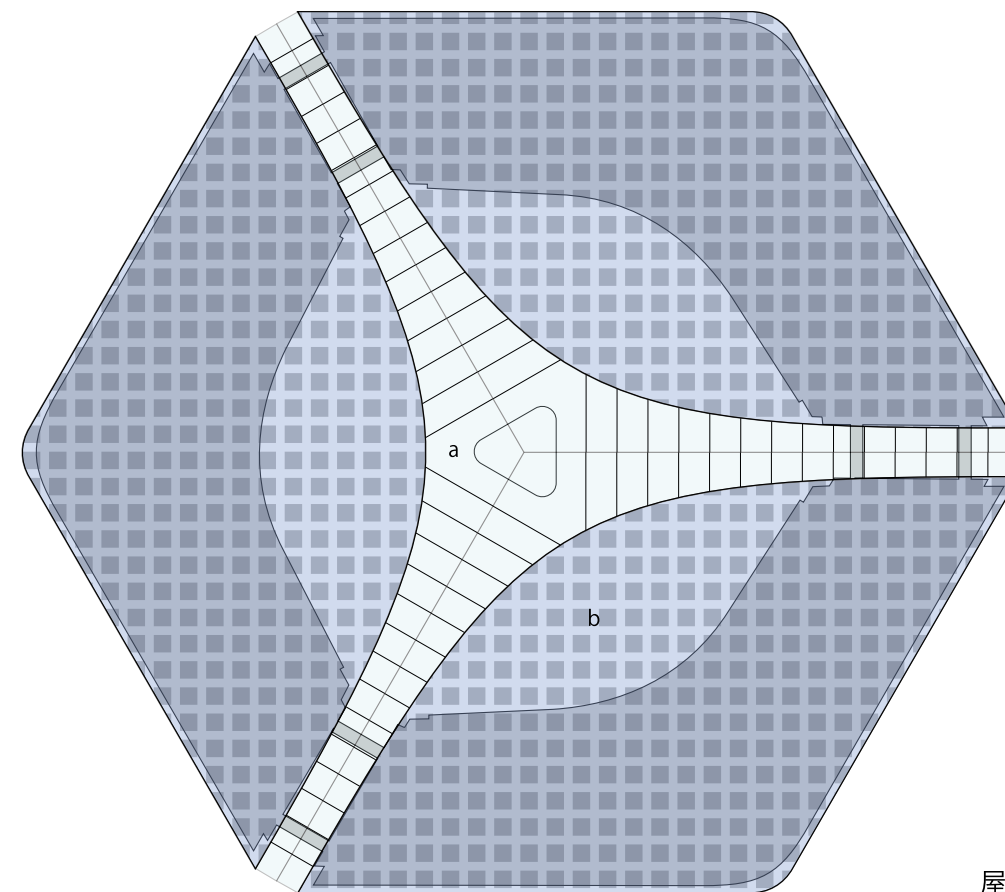
- |                                        |                                 |                              |
|----------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| a 緑化ストラクチャ                             | e 田モジュール 67,500m <sup>2</sup>   | l 魚モジュール 4,000m <sup>2</sup> |
| b 外装(透過型太陽光発電ガラス)                      | f 畑モジュール 77,500m <sup>2</sup>   | m 機械室、配送センター、循環装置、食品加工工場     |
| c レジデンス、オフィス、ラボラトリー、商業施設、コミュニケーションスペース | g 果樹園モジュール 60,000m <sup>2</sup> | n 空中公園                       |
| d 共用スペース                               | h テラス                           | o 広場                         |
|                                        | i 廊下                            | p エアポート                      |
|                                        | j 家畜舎モジュール 1,000m <sup>2</sup>  | q 緑地、公園                      |
|                                        | k 昆虫モジュール 500m <sup>2</sup>     |                              |



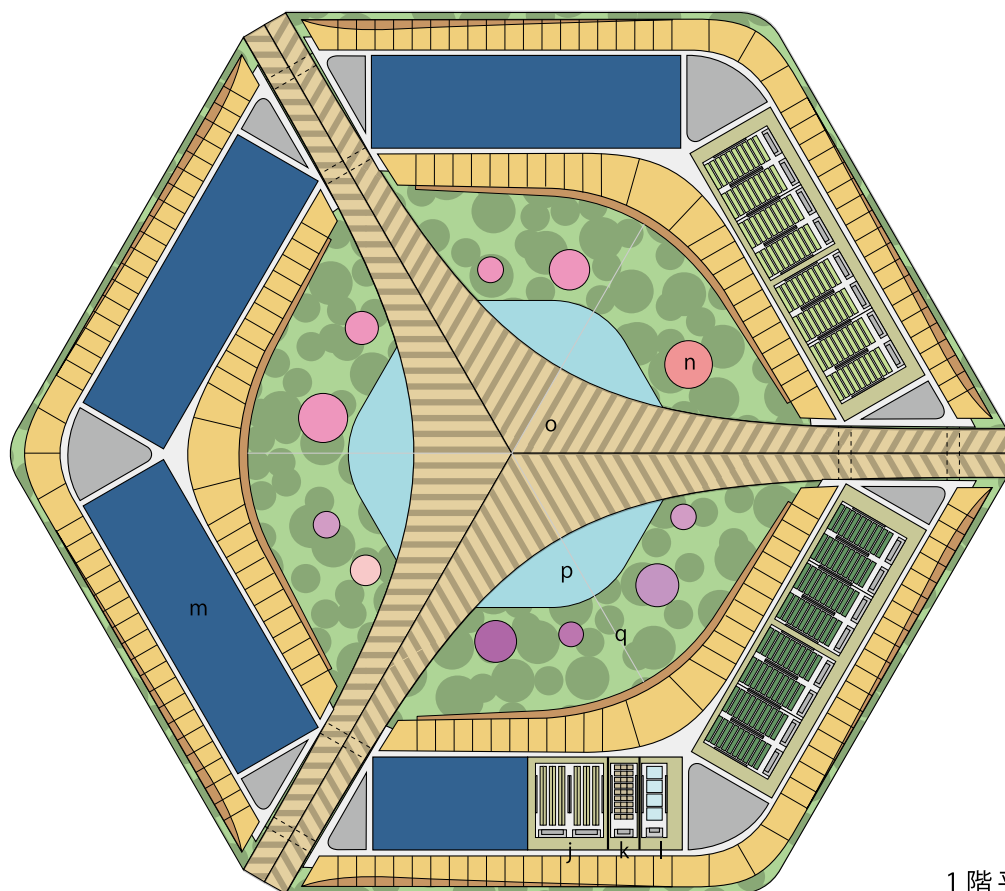




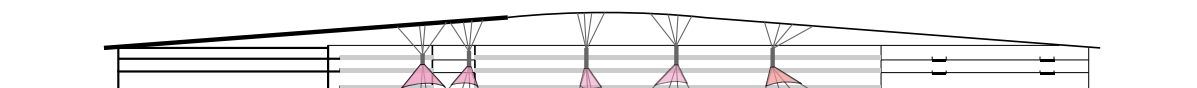
2、3階平面図



屋根形状図



1階平面図



断面図

- a トップライト  
(高透過型太陽光発電ガラス)
- b ドームルーフ  
(透過型太陽光発電ガラス)
- c レジデンス、オフィス、  
ラボラトリー、  
レストラン・  
コミュニケーションスペース
- d 共用スペース
- e 田モジュール 13,500m<sup>2</sup>
- f 畑モジュール 15,500m<sup>2</sup>
- g 果樹園モジュール 12,000m<sup>2</sup>
- h テラス
- i 廊下
- j 家畜舎モジュール 200m<sup>2</sup>
- k 昆虫モジュール 100m<sup>2</sup>
- l 魚モジュール 80m<sup>2</sup>
- m 機械室、配送センター、  
循環装置、食品加工工場
- n 多目的スペース、店舗
- o 広場
- p 池
- q 緑地、公園

0 50 100m



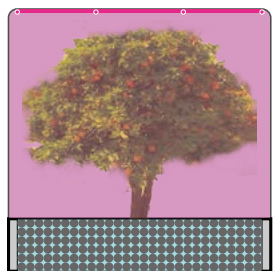
標準タイプ:高さ0.8m 幅9m 奥行1.5m 12段  
※田、畑モジュール。米、小麦、野菜、果菜等に対応



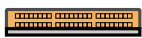
地下茎タイプ:高さ0.8m 幅9m 奥行1.5m 12段  
※根菜類、芋類用のモジュール。無機質の水耕栽培を基本とするため、土の代用として遮光性のある高分子吸収材の基盤を使用



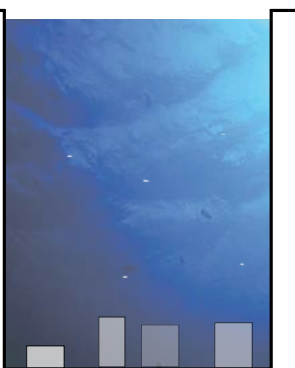
コンパクトタイプ:  
高さ0.3m 幅9m 奥行1.5m 24段  
※葉物野菜、小型野菜に対応



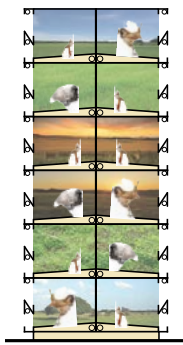
果樹タイプ:  
高さ3m 幅9m 奥行1.5m 3段



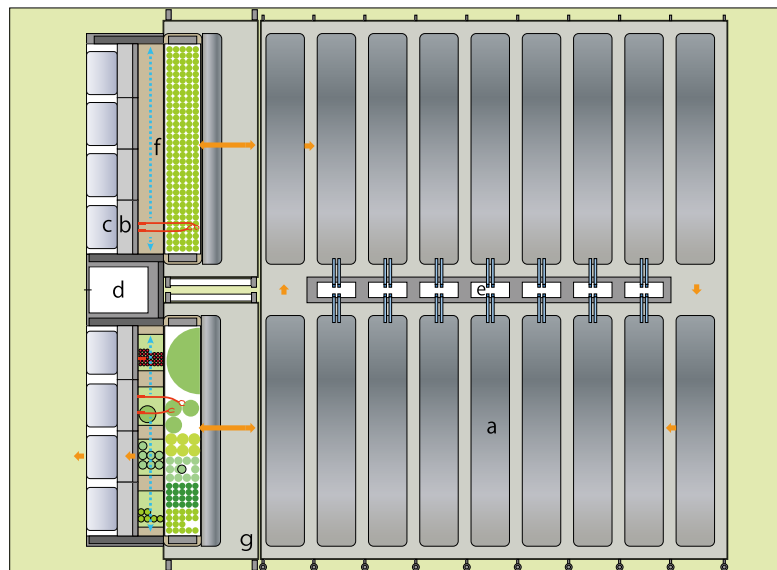
昆虫タイプ:  
高さ0.3m 幅2m 奥行1.5m 12段



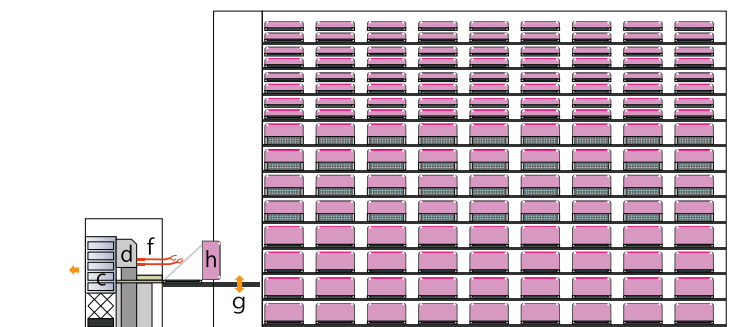
魚タイプ:水槽深さ4m



家畜舎タイプ:高さ0.6m 幅19m 奥行0.8m 6段

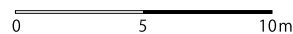


平面図



立面図

- a モジュール (自走式)
- b 自動制御ロボット
- c 自動搬送ユニット (昇降式)
- d 搬送用 EV
- e エネルギー供給シャフト
- f ワークプレイス
- g 垂直搬送ステージ
- h モジュール (開蓋)



## 四 食糧生産システム

### ◎データに基づく食糧生産

食糧生産施設での生産管理はAIとロボットが行い、住民に必要な量の食糧を生産する。生産物の内容や量は、各住民のパーソナルデータから導き出す。まずは、身長や体重、性別のほか、既往症や健康状態、食感や味の好み、イベントのスケジュールなど、あらゆるパーソナルデータを収集。このデータに基づき、各住民に必要な栄養が確保でき、かつ好みにあった食料をタイミングよく提供できるように、いつ何を生産すべきかを予測、食糧生産システムの生産工程に反映させるのだ。全住民のパーソナルデータは、リアルタイムに収集・解析・フィードバックしていくことで、食糧生産を「おまかせ」していても、常にニーズにあった食料が必要な時に提供されるようになっていく。さらにこのことは、余剰生産物や、生産から消費の過程で生まれる無駄な食品廃棄物をゼロにすると共に、フードロスも抑制でき、住民の健康に配慮した豊かな生活を実現できるのだ。

### ◎全自動の営農システム

食糧生産施設では、高度環境制御下で

の養液栽培(土を使わない無機質の水耕栽培)により、高生産効率かつ季節の推移に関係ない通年栽培を行う。

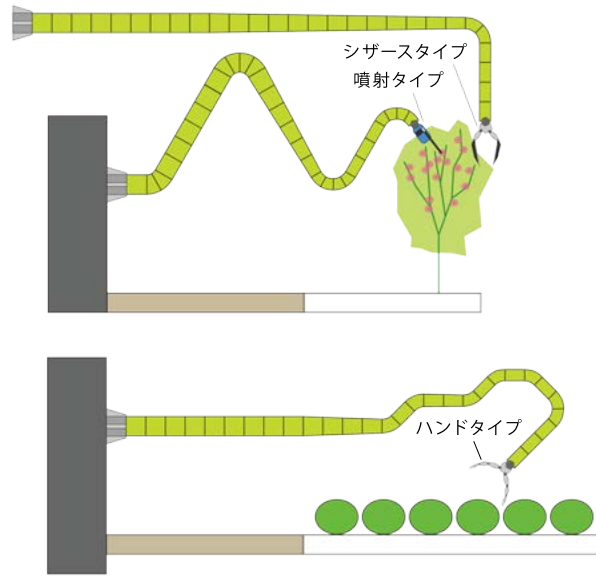
食糧生産施設は、温湿度の管理や防災性を考慮し、三〇〇〇平方メートルのクリーンルームとした。その中に、田、畑、果樹、鶏、昆虫、魚など、さまざまなタイプの食糧生産モジュールが積層している。食糧生産モジュールは自走式で、必要に応じて最下段にある農作業ロボットアームが設置された部分に移動し、手入れや収穫などの自動管理を行う仕組みとなっている。

食糧生産モジュールの基本サイズは、幅九メートル、奥行一・五メートル、高さ〇・八メートル。田畑の作物を育てる標準タイプ、地下茎タイプ、コンパクトタイプのほか、果樹、昆虫、魚、鶏を育てる家畜舎など、さまざまなサイズを用意している。一部を除いて各モジュールは閉閉式カバーで覆われ、モジュール内は光量、温度、湿度、水分、養分などを細かく環境制御し、生産物ごとに最適な条件で育成すると共に、多品種や機能性食品などの少量生産にも対応する。また、画像認識装置や各種センサー、LED照明などが組み込まれている。これにより、生育状態を場

所の離れたコントロールセンターから常時監視し、作物の状態に応じて手入れなどを行うことができる。なお、モジュールの素材は、耐久性、耐薬品性に優れたステンレスを想定、表面は鏡面仕上げとし、内部のLEDの光を効率的かつ均等に反射させることを狙った。

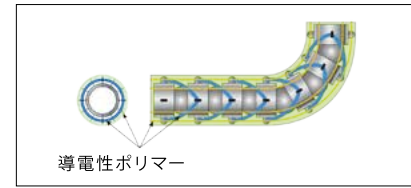
このような生産を行うにあたっては、トマトがミニトマトにサイズダウンするような品種改良が行われるが、そうした前例がない果樹などについても、いつそうコンパクトに品種改良し、工場での大量生産が可能になることを前提とした。それが実現できれば、安定した生産と収穫量の増加を見込むことができる。また、量産エリアとは別に採種用の圃場も確保し、種の循環にも対応する。

収穫については、農作業ロボットと、昇降式の自動搬送システムが行う。収穫物は、搬送システムのコンテナに収められ、自律移動型モビルとエレベーターを利用して一階の配送センターへ運び、仕分けされたうえで各住民に届けられる。なお、鶏、昆虫、魚については、集荷のあと建物内の加工場にて、住民のニーズに応じた摂取しやすい形状に加工して出荷、配送する。



ロボットアームは、3D画像認識により、位置とモーションを自動的に検出・算出。多関節のスネークアームは障害物を避けながら、シザース、噴射、ハンドの3タイプのアタッチメントを使用して、細やかな作業を可能とする。可動方式は人の筋肉と同様の動作が可能な導電性ポリマーを用いたソフトアクチュエータを想定。背骨の筋肉に倣い、関節部と外周部に2種類の人工筋肉を配置することで、細かい動作と大きな力を要する動作に対応する。関節部はセルロースナノファイバーやカーボン素材で軽量化。二本のアームが一セットで稼働し、アタッチメントは、二本のアームの片方を利用して交換する。また、衛生面に配慮し、アームは伸縮性のある樹脂カバーで表層を覆う。

ソフトアクチュエータ概念図



ロボットの前に自走してきたモジュールはカバーを開いて、ロボットのアームによって手入れや収穫が行われる。収穫時には可動式パレットごとロボットの背後のコンテナに搭載し、配送センターへと自動搬送される

◎農作業用ロボットアーム

生産施設には、すべての農作業を行うロボットアームをモジュール幅の九メートルごとに二台設置している。ロボットアームは、葉物野菜、穀物、根菜、芋、果菜、果樹などの収穫、成長に伴い支柱をつけるを巻く、摘心・剪定作業と不要な葉の除去、受粉作業など、アタッチメントを交換しながら、あらゆる作業を行う。

収穫物や落ち葉などはロボットアームがパレットに移動させ、昇降式の自動搬送装置内に収納して運搬する。もちろん、清掃や植替えもロボットアームが行うのだ。

◎自動搬送システム

食糧生産工場から居住スペースへの搬送はすべて、多段式コンテナによる自動搬送システムにより運ばれる。コンテナは高さ調整機能があり、パレット収納の自動化を容易にしている。

生産物は、配送センターや食品加工工場、住居、コミュニケーションスペースへ搬送し、食品加工工場では施設内の設備で実施できる主要な食材の加工を担い、必要に応じて食材は配送センターから敷地外の加工工場に運ばれ相互輸送が行われる。これらすべてが自動で搬送されるのだ。

◎生産システムのネットワーク化

将来、道路などの公共空間で自動運転や物資の自動搬送が進むことが想定されるが、本構想では基本的に建物内の自動搬送システムで完結できるように、公共交通機関の負担を軽減することが期待できる。また、流通の距離も大幅に短縮されるため、鮮度の高い地産地消の食料自給システムが実現可能だ。同様の建物が近隣に複数建設されれば、食糧生産システムをネットワーク化することで、食糧メニューの多様化対応や、より生産ロスの少ない運用が可能となる。さらに地域を超えてエリアが広がれば、AIが自分に合った食事を提供してくれるセルフフードプランニングなどのサービスを世界中で体験できるようにすることから、新たな食糧生産システムで地域、社会の構造を変えていく可能性も秘めている。

◎作業を終えて

超省力・高品質生産を実現する新たな農業（スマート農業）。その先のシナリオにはどのようなものがあるだろう。日本がさらなる農業で勝てる国になるというシナリオはもちろんあるが、私たちは、ど

のような場所でも地産地消で適切な量の食料を得られる世界を描いてみようと考えた。自然災害が多発する場所でも、農業就労者が少ない国でも、土地に余裕のない過密地域でも、太陽の恵みを得られない時期がある南極圏でも、空気がない宇宙でさえもだ。本編では触れていないが、試算では百人単位までならば COMPACT AGRICULTURE のシステムの縮小対応が可能だ。生産物の種類や生産効率は少し犠牲になるが、小さなスペースで、外部環境に影響されず、物質もエネルギーも完全循環するので、宇宙空間への展開も可能ということになる。

また、COMPACT AGRICULTURE では、生産現場と生活の場が切り離され、作物を大切にするという意識が芽生えにくく、食へのありがたみを感じることも希薄になっていく現代社会の問題も、地産地消かつガラス張りの見える化により解決を試みた。農業がコミュニケーションツールとして活用されるだけでなく、食の安全への対応にも十分応えられるものになるだろう。

日本ではほとんど話題にならないが、「農業」という営みそのものが地球環境の破壊である」と言われていることにも最後に触れておきたい。森を切り拓き、草原

を切り拓くという目に見える環境破壊の他にも、営農自体が土壌の流失、砂漠化、地力の低下などを招くからだ。農業環境や機能性食物の研究において世界的な権威である古在豊樹千葉大学名誉教授は、これからの農業は、生産性や効率の改善だけを考えるのではなく、生産しながら環境を改善することも考える必要があるという。物質循環を実現する COMPACT AGRICULTURE では、少なくとも環境破壊をすることなく生産を行うことができるだろう。今回の提案が、地球規模での異常気象や人口増加による食糧供給の問題を解決し、世界各地で自給自足できる持続可能な開発目標（SDGs）の趣旨に沿った未来を拓ききっかけになればと願っている。

最後となったが、今回のプロジェクトを構想するにあたっては、貴重なご示唆をいただいた古在豊樹名誉教授に、心よりお礼を申し上げたい。

大林組プロジェクトチーム  
環境・設備／エンジニアリング：大島義徳、  
金田久隆、杉本英夫、中村奈美、前田茂哉  
意匠：葛西秀樹  
CG担当：大林デザインパートナーズ（金久保友子、松下尚嗣）