

# 供給能力と受注量の最適化問題

石井 信明

建設、エンジニアリングなど個別受注産業では、顧客要求による成果物をオーダーごとにプロジェクト方式で提供する。需要であるオーダーの規模は、顧客の投資計画に左右される。また、通常、競争入札により受注が決まる。そのため、常に大きな業績変動の可能性がある。このような環境下で持続可能な経営を実現するには、需要変動の下で適正な受注量と収益性の双方を確保する必要があり、見積業務を含めた供給能力と受注量の長期的な最適化の実現が欠かせない。本稿では個別受注産業の例として、特に需要変動が大きいプラントエンジニアリング企業を取り上げ、供給能力と受注量の最適化について検討を行う。

キーワード：EPC 契約、競争入札、受注戦略、需給マネジメント、見積精度

## 1. はじめに

現代企業は、グローバル化の拡大と急速な技術革新により、従来からの継続的な品質向上とコスト低減努力に加え、顧客要求の多様化、技術の陳腐化など、多様で広範囲な課題への対応が求められている。とりわけ、変化する需要への対応力の強化は、持続可能な経営の実現に欠くことができない。すなわち現代企業には、需要と供給の最適化マネジメントの考え方、戦略、および、管理技術の体系の定着と高度化が求められる [1]。

なかでも、オーダーごとに顧客要求に基づくユニークな成果物をプロジェクト方式で提供する個別受注産業では、需要であるオーダーの件数と金額（以下、オーダーの規模）は顧客の投資計画に左右され、自らの努力ではコントロールが難しい。さらに、通常、受注は競争入札により決まるため、常に大きな業績変動の可能性がある。このような環境下で持続可能な経営を実現するには、需要変動の下で適正な受注量と収益性の双方を確保する必要があり、見積業務を含めた成果物の供給能力と受注量の長期的な最適化の実現が欠かせない。

ここでは、代表的な個別受注産業の一つであり、需要変動が大きいプラントエンジニアリング企業（以下、ENG 企業）を取り上げ、その供給能力と受注量のあり方について検討を行う。

## 2. エンジニアリング企業の業績変動と課題

ここで ENG 企業とは、顧客要求に基づきオーダーごとに設計・調達・建設をプロジェクト [2] として請負う企業とする。石油・ガス・化学・電力などのプラント建設が代表的な活躍の場である。ENG 企業を、顧客要求によりユニークな成果物を創造する企業と考えると、土木・建築、情報通信システム構築、造船を手がける企業も、広義には ENG 企業と位置づけることができる。

ENG 企業が手がける対象は、機械装置、化学装置、情報システムが高度に集約された大型システムであり、その設計・調達・建設・保守、プロジェクトマネジメントには、容易には真似のできない高度な技術と経験の蓄積を必要とする。すなわち ENG 企業は、人々の安心・安全、そして、社会インフラを支える装置をシステムとして提供することに加え、新興国のインフラ整備、地球温暖化対策、代替エネルギー活用など、今後ますます活躍の広がると考えられる。

しかしながら国内の ENG 企業は、1960 年代までの高度成長の後、国内需要の減少によるグローバル化対応への試行錯誤と競争激化、価格競争など、外部環境の変動をまともに受け、これまでに何度も大きな業績の変動を経験してきた。たとえば日本を代表する ENG 企業においても、1990 年代に売上高が半減し、企業の存続を危うくするまでの大きな損失を出している。これは、ENG 企業の需要であるオーダーの世界規模での縮小が第一の理由であるが、想定外に損失が膨らんだ一因は、需要の変化に対応した受注と供給の最適化の仕組みが未整備であったために、自ら拡大させた業績変動ととらえることもできる。実際、新聞などで繰

いしい のぶあき  
文教大学情報学部  
〒 253-8550 神奈川県茅ヶ崎市行谷 1100  
ishii@shonan.bunkyo.ac.jp

り返し報道されるように、オーダーが豊富で受注が好調な場合でも、想定外の損失が明らかになるプロジェクトはなくなる。

顧客の投資計画から生じるオーダーを受注する ENG 企業は、需要変動に対して直接手を打つことに限界がある。また、競争入札による受注が一般的なため、競争力、あるいは、需要に変化がない場合でも、入札時点の見積精度が低いために意図しない不採算案件を受注する可能性がある。実際のコストより低く見積もった場合ほど、受注確率が上がるためである。さらに ENG 企業の多くは、オーダーの減少に備え、常に受注量確保を優先する傾向がある。そのため供給能力を超えた過度な受注が新規受注に必要な見積業務をおさなりにし、低い見積精度で入札価格を決定することで、長期間にわたり不採算プロジェクトの増加をもたらす可能性がある。すなわち ENG 企業では、見積業務を含めた供給能力と受注量の長期的な最適化の仕組みが整っていないと、十分なオーダーがある場合でも、見積精度が低いために不採算プロジェクトを受注し、受注が好調であるにもかかわらず自ら業績を悪化させる可能性がある。仕事は豊富で忙しいにもかかわらず、儲からない状況である。

以下では、ENG 企業における見積り、受注、プロジェクト遂行について、供給能力と受注量の最適化の観点から検討を行う。

### 3. 業務プロセスと契約方式

ENG 企業の業務は、図 1 のプロセス [3, 4] に示すように、発注者である顧客がプロジェクト案件であるオーダーへの提案依頼書 (RFP: Request For Proposal) を準備し、通常、複数の ENG 企業に応札を依頼するところから始まる。ENG 企業は RFP の内容を確認したうえで、採用技術、プロジェクト実績、入札における競合状況、発注者の予算、受注残などのさまざまな観点から応札するかどうかの判断を行う。その際、限られた情報から応札前に事前の見積りを行い利益の予測を立て、応札への意思決定に使用する。

応札を決定すると、ENG 企業は見積り用の設計とプロジェクト計画を含むプロポーザル作成、コスト見積りを行い、競合他社の動向、受注目標と受注残の差額などを考慮し、入札価格を決定する [5, 6]。入札の結果、受注が決定した ENG 企業は、コントラクターとして正式なプロジェクト (以下、受注プロジェクト) を立ち上げ、契約に定める期日までに発注者へ成果物を納めることになる。

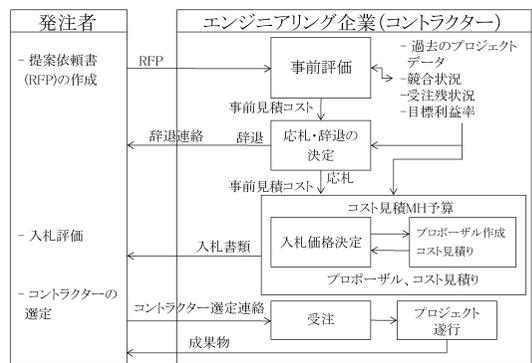


図 1 エンジニアリング企業における見積り・受注・プロジェクト遂行の一般的なプロセス

プロジェクトの契約方式には、表 1 に示すように、定額契約と実費償還契約がある [2, 7]。定額契約には、完全定額契約、定額インセンティブ・フィー契約などがあり、実費償還契約には、コストプラス・パーセンテージ・オブ・コスト契約、コストプラス固定フィー契約、コストプラス・インセンティブ・フィー契約などがある。

日本の ENG 企業が得意とする契約方式は定額契約であり、EPC 契約 [8] とも呼ばれる。EPC 契約は、成果物の E (設計: Engineering), P (調達: Procurement), C (建設: Construction) に関する役務の内容と契約金額を確定したうえで発注者からプロジェクトを請負うもので、フルターンキー契約ともいう。EPC 契約の場合、プロジェクトで生じるリスクは基本的にコントラクターが負うことになる。発注者は、コスト増加リスクを低減できるだけでなく、設計と施工を分離しない一括契約により納期短縮も期待できる。また EPC 契約では、実績と信用のある ENG 企業に発注すれば、発注側の人材と技術力に制約がある場合でもプロジェクト遂行が可能である。発注者は、競争入札により契約金額を抑えることも期待できる。

ENG 企業にとり、EPC 契約は受注プロジェクト遂行で生じるリスクの多くを自社で吸収することになり採算性への影響が大きい。反面、プロジェクトマネジメントを徹底することで競合他社との差別化が図れる。EPC 契約はプラントエンジニアリング市場で広く採用されており、ENG 企業は、EPC 契約において利益を上げるためのマネジメント能力の高度化を競っている。

ここでコストに注目した場合、その大部分は入札までの見積り段階で決まるといえる。この段階で行う見積り用の設計およびプロジェクト計画はコストの見積精度にかかわり、入札価格、ひいては、受注の成否、お

表 1 代表的な契約方式と特徴

契約方式	代表例	特徴
定額契約	・完全定額契約 ・定額インセンティブ・フィー契約	・コントラクターのリスクが大きい ・発注者のプロジェクトへの関与が小さい
実費償還契約	・コストプラス・パーセンテージ・オブ・コスト契約 ・コストプラス固定フィー契約 ・コストプラス・インセンティブ・フィー契約	・コントラクターのリスクが小さい ・発注者のプロジェクトへの関与が大きい

よび、受注プロジェクトの採算性に影響を与える。次に述べるように、見積りに多くの人的資源を投入、すなわち MH (Man-Hour) をかけた設計、検討を行い、コスト見積りの精度を高めることが、受注プロジェクトの採算性を高め、赤字受注の可能性を下げることにつながる [3]。

## 4. 供給能力と受注量

### 4.1 見積精度の受注・利益への影響

EPC 契約では、入札時点のコスト見積り結果を基に入札価格を決めるため、その時点の見積精度が EPC 契約の採算性に大きく影響する。

見積精度は、見積情報の質と量により決まるといえる。プラントエンジニアリング分野では、採用する見積手法ごとに必要なデータと見積精度の関係が整理されており、プロセスプラントを対象とする場合、採用する見積手法により見積精度が -50%~+100% の範囲から、±3% の範囲となるとされている [9]。代表的な見積手法としては、類似プラントの実際コストと想定規模情報などを基に超概算見積りを行うキャパシティスライド法、設計情報に基づき詳細に見積りを行う積み上げ積算 [10, 11] などさまざまであるが、見積りに精度を求めるといった詳細な情報を要し、それらを収集・整理するための MH が必要となる。さらに、高精度の見積りを行うには経験豊富な人材を活用する必要がある。投入できる MH 量には限りがある。また、受注したプロジェクトの遂行にもそれらの人材が必要である。このように ENG 企業では、限りある経験豊富な人材を見積業務とプロジェクト遂行で分け合うことになる。

そのため、プロジェクトを過大に受注すると、その後の見積業務に要する MH が不足し精度の低い見積りとなる。通常、コストを実際より低く見積もった場合

表 2 Case A (長期安定需要) の受注シナリオ

Case A1, A2, A3 共通	各期の受注プロジェクトのマークアップを 10% に固定。
A1 (安定受注)	受注目標を 1,250 億円に固定。
A2 (受注量優先)	第 3 期に A1 受注目標の 1.5 倍受注。
A3 (受注量調整)	第 3 期、4 期に A1 受注目標の 1.5 倍、0.5 倍をそれぞれ受注。

表 3 Case B (需要漸減) の受注シナリオ

Case B1, B2, A3, B4 共通	各期の受注プロジェクトのマークアップが徐々に減少。1~3 期: 15%, 4~6 期: 10%, 7 期以降: 5%。
B1 (受注目標固定)	各期の受注目標を 1300 億円に固定。
B2 (受注目標漸減)	各期の受注目標をマークアップの減少に応じ 1,300, 1,250, 1,150 億円に変更。
B3 (受注量優先)	第 4, 5 期に受注目標の 1.25 倍を受注。他の期は B2 と同様。
B4 (受注量調整)	第 4, 5 期に受注目標の 1.25 倍、第 6, 7 期に 0.75 倍を受注。他の期は B2 と同様。

ほど受注の可能性が高まるため、見積精度が低いことは、次期以降の利益減少につながる。一方、見積りへの多大な MH の投入は受注プロジェクト遂行の MH 不足を招き、スケジュール遅延、コスト増加など、こちらも多期間にわたり損失が生じる可能性が高まる。

このように、見積業務と受注プロジェクトへのリソース配分の意思決定が、EPC 契約における ENG 企業の業績に長期的な影響を与えることになる。見積精度を決めることになる見積業務と受注プロジェクトへの MH 配分、および、適正な受注量を確保するためのプロジェクト受注戦略が、ENG 企業にとり経営の要の一つといえる。

### 4.2 供給能力と受注量の多期間シミュレーション

すでに述べた、見積業務と受注プロジェクトへの MH 配分が受注プロジェクトの期待利益に及ぼす関係に基づき、受注、売上、利益の多期間シミュレーションを試みる。シミュレーションでは、コストの見積額が、見積りに投入する MH により決まる見積誤差を分散とした確率分布で表せるとし、入札価格を見積額に利益となるマークアップを加えた値とする。使用するシミュレーションモデル、競争入札により決まる期待利益の算出、設定条件の詳細は参考文献 [3] に示す。

なお、シミュレーションにおける受注のシナリオとして、長期安定需要の Case A と需要漸減の Case B

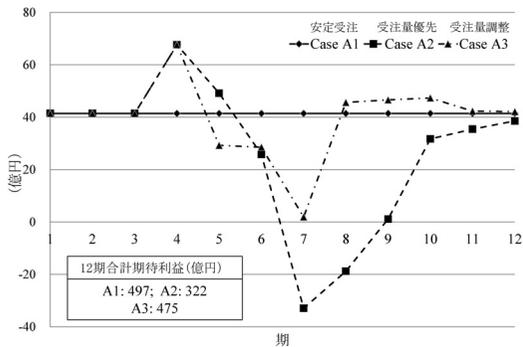


図2 Case A の期待利益推移

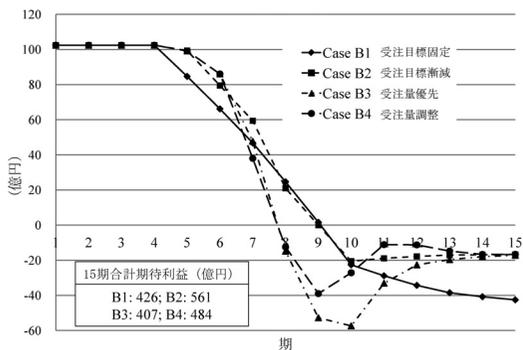


図3 Case B の期待利益推移

を、それぞれ表2、表3のように設定する。需要漸減は、入札価格を決める際のマークアップの減少と仮定する。なお、オーダー件数、競合企業数などの受注環境は、シミュレーション期間において一定としている。

シミュレーションの結果、Case Aでは、図2に示すように、毎期同額の受注量を確保する受注シナリオA1の12期合計期待利益が497億円と最も高く、第3期にA1の1.5倍額を受注するA2の合計期待利益が322億円と最も低い。また、A2に対し、第4期に受注量を調整するA3では合計期待利益が475億円となり、A2における受注過多の緩和効果が認められる。A2の現象は、ある期での過度な受注がその後の期で利用できる見積MHの減少を招き見積精度が低下するため、受注プロジェクトの期待利益が低下することで生じる。A2の場合、第3期の受注増によるその後の期待利益減少が回復するのに7期間を必要としており、安定した受注環境においても、受注戦略の失敗により長期間の利益減少を自ら起こす可能性があることがわかる。さらにA3では、第8～10期において固定目標受注量確保のA1より高い期待利益となるが、これは、第4期での受注量調整により見積MHに余裕ができA1より

も利益の高いプロジェクトの受注が期待できるためであり、多期間にわたる見積業務と受注プロジェクトへのMH配分を考慮した受注戦略が長期的な利益の向上に有効であることがわかる。

市場収縮下の受注環境であるCase Bでは、図3に示すように、毎期の受注目標を固定する受注戦略B1の15期合計期待利益は426億円であり、マークアップの変化に従い目標受注額を変更するB2の期待利益561億円と大きな差が生じる。また、第4、5期にB2に比べ受注額を1.25倍とするB3では合計期待利益が407億円とB2と比べ減少しており、Case A同様に過度な受注によるその後の期待利益減少が見られる。これに対し第6、7期で受注量の調整を行うB4では合計期待利益が484億円となり、Case A2とA3の関係と同様にB3とB4においても期待利益の改善が見られるが、需要漸減のCase BではCase Aに比べ受注量調整の効果は限定的である。これは、需要漸減に対応して徐々に目標受注量を下げることによって、Case BではCase Aに比べて受注過多の影響が緩和されるためと考えられる。

日頃から受注量確保を課題とするENG企業は、受注量減少リスクに備え、毎期の受注量最大化を求める傾向にある。しかし先に考察したように、見積MH配分による見積誤差の影響は、次期以降の受注プロジェクトの採算性に影響する。すなわち、供給能力と受注量には期待利益を最大化する値があり、ENG企業の継続的な利益確保には、受注量と見積業務を含めた供給能力の長期的視点からのバランスを考慮したマネジメントが必要といえる。

### 4.3 人的資源制約を考慮した受注戦略

先に示したようにENG企業では、適正な受注量を安定して確保することが、継続的な利益確保に欠かせない。しかし、受注量は受注環境、および、競争入札の結果から決まるため、コントラクターであるENG企業自身によるコントロールが難しい。

ここでは、4.2節で用いたシミュレーションモデルを拡張し、実際の受注量が目標受注量から確率的に乖離する条件において、表4に示す3種類の受注戦略の長期的な利益への影響をシミュレーションにより検討する。シミュレーションモデルの詳細、および、設定した条件については、参考文献[12]に示す。

図4は、受注戦略Aにおける各期の目標受注量を1,150、1,200、1,250、1,300億円とした場合における、15期間の合計期待利益と目標受注量からの乖離( $rv$ )に関するシミュレーション結果を示している。ここで

表 4 受注戦略

受注戦略 A	毎期の目標受注量を固定する。
受注戦略 B	平均受注量が目標受注量となるように、毎期の受注目標を受注実績から設定する。
受注戦略 C	戦略 B に加え、毎期受注量の上限を設定する。

横軸の目標受注量からの乖離とは、目標受注量と実際の受注量の変動幅を指す。たとえば、 $rv = 0.1$  は、目標受注量から実際の受注量が 10% の範囲で変動する条件を示す。

図 4 から、いずれの目標受注量においても、 $rv$  が大きくなると合計期待利益は減少するが、減少の程度は設定する目標受注量により異なることがわかる。また、 $rv$  により、合計期待利益が最大となる目標受注量が異なることがわかる。たとえば、 $rv$  が 0.1 以下の場合、目標受注量を 1,250 億円とした場合に合計期待利益が最大となるが、 $rv$  が 0.15 以上では、1,200 億円とした場合が最大となる。すなわち、受注量の変動が大きい場合には、目標受注量のある程度抑えるほうが期待利益の増加につながるがわかる。

さらに図 5 には、目標受注量を 1,300 億円とした場合の各受注戦略における 15 期間の合計期待利益と  $rv$  の関係を示す。図 5 から、 $rv$  によらず、受注戦略 C の期待利益が最も大きいことがわかる。また、 $rv$  が大きくなると、毎期の受注量を固定する受注戦略 A の合計期待利益が大きく減少することがわかる。たとえば、 $rv = 0.2$  の場合では、受注戦略 C に比べて 23.81% 減少する。これに対し、それまでの受注実績に応じて毎期の受注量を変更する受注戦略 B は、受注量変動の影響を受けにくく、 $rv = 0.2$  の場合でも受注戦略 C と比べて 6.55% の減少に留まる。

先に述べたように ENG 企業では、受注変動、特に、受注の下振れを避けるために多くのオーダーに応札しがちといえる。しかしここに示した結果から、受注量の目標からの乖離が大きい場合は、むしろ目標受注量を下げ、数期間にわたる平均受注量を適切な量にコントロールする受注戦略が、採算性向上による持続可能な経営の実現のためには望ましいといえる。

### 5. おわりに

個別受注産業では、受注量確保が経営の基盤といえる。しかし、EPC 契約の特性を考えると、採算性のよいオーダーであっても見積業務を含めた供給能力を超える過度な受注は、受注後の見積 MH を圧迫すること

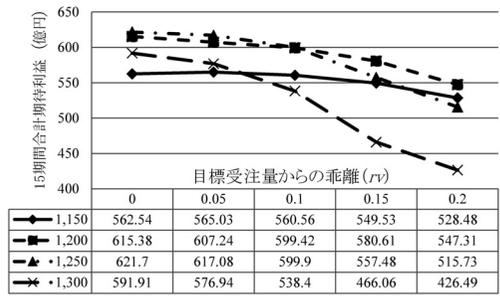


図 4 目標受注量と期待利益 (受注戦略 A)

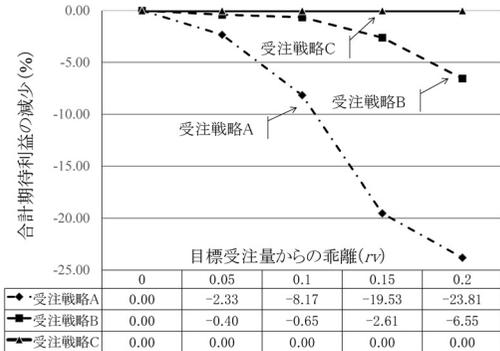


図 5 受注戦略の期待利益への影響

で新規受注プロジェクトの見積誤差が大きくなり、多期間での評価ではむしろ採算性の低下を招く可能性がある。本稿ではこの点について、ENG 企業を例に取り上げ、供給能力と受注量の最適化問題の観点から考察を行い、シミュレーションによる評価を試みた。

この問題は、本稿で取り上げた個別受注産業にとどまらず、需要と供給の最適化マネジメントの考え方、戦略に関するものであり、さまざまな変動が存在する現代社会における動的な需給バランスの実現といえる。この分野は、広くは需給マネジメント [1, 13] として研究が進みつつあり、今後多くの分野において、社会における有効な意思決定を支援する管理技術体系としての発展が期待される。

**謝辞** 本稿を執筆するにあたり、東京工業大学の村木正昭名誉教授、専修大学の高野祐一先生には、多くの示唆、アドバイスをいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

### 参考文献

- [1] 松井正之、藤川裕見、石井信明、『需給マネジメントーポスト ERP/SCM に向けてー』、朝倉書店、2009。
- [2] Project Management Institute、『プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (第 5 版)』、Project Management

Institute, 2014.

- [3] N. Ishii and M. Muraki, "A strategy for accepting orders in ETO manufacturing with competitive bidding," *Proceedings of 1st International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, pp. 380–385, 2011.
- [4] 石井信明, "エンジニアリング企業の需給管理," 月刊ロジステクス・ビジネス, **6**, pp. 78–81, 2013.
- [5] N. Ishii, Y. Takano and M. Muraki, "A heuristic bidding price decision algorithm based on cost estimation accuracy under limited engineering man-hours in EPC projects," *Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing*, **319**, pp. 101–118, 2015.
- [6] Y. Takano, N. Ishii and M. Muraki, "A sequential competitive bidding strategy considering inaccurate cost estimates," *OMEGA*, **42**, pp. 132–140, 2014.
- [7] H. R. Kerzner, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, John Wiley & Sons, 2013.
- [8] N. Pritchard and J. Scriven, *EPC Contracts and Major Projects*, Sweet & Maxwell, 2011.
- [9] The Association for the Advancement of Cost Engineering, "Cost estimate classification system—As applied in engineering, procurement, and construction for the process industries," *AACE International Recommended Practice*, No. 18R-97, 2011.
- [10] 日本プロジェクトマネジメント協会, 『改訂3版 P2Mプログラム&プロジェクトマネジメント標準ガイドブック』, 日本能率協会マネジメントセンター, 2014.
- [11] G. Towler and R. Sinnott, *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*, Butterworth-Heinemann, 2012.
- [12] N. Ishii, Y. Takano and M. Muraki, "An order acceptance strategy under limited engineering man-hours for cost estimation in engineering-procurement-construction projects," *International Journal of Project Management*, **32**, pp. 519–528, 2014.
- [13] M. Matsui, *Manufacturing and Service Enterprise with Risks*, Springer, 2009.