第1章　序論

1.1　研究背景

近年，様々な進化計算（Evolutionary Computation, EC）手法が提案されている．進化計算とは自然界の慣わしを工学的に模倣した最適化アルゴリズムの総称で，多点探索や関数の勾配情報が必要ないといった特徴から，多目的最適化に有効な手法であることが知られている．進化計算の中でも，特に実数値遺伝的アルゴリズム（Real-Coded Genetic Algorithms, RCGAs）の研究が盛んに行われており，実際の設計問題においてもその有効性が示されている [?, ?]．しかしながら，実際の設計問題では目的関数や制約条件の評価に大きな計算資源を必要とする場合があり，パレート最適解（非劣解）集合を一度に得ることができるものの，最適解を得るまでに必要な計算時間が課題となっており，更なる効率的な探索手法が求められている．

RCGA はバイナリ型遺伝的アルゴリズム（Binary-Coded Genetic Algorithms, BCGAs）と異なり，設計変数は 0，1 のバイナリビット列でなく実数値配列となる．一般的に，RCGA を用いた最適化では設計変数に連続値を仮定した実数値で取り扱うため，設計変数の有効桁数や離散化に関してユーザが意識することは少なく，計算機の取り扱える最大桁数を用いて最適化を行うことが多い．しかし，現実の設計最適化問題では設計変数は実現性の観点から，離散値となったり有効桁数が設けられる場合が多い．RCGA をそのような設計問題に適用する場合，最終的に得られた解の設計変数を離散値に近似するか，設計変数を最適化のプロセスの途中で修正する必要がある．設計変数を最適化のプロセスの途中で修正する場合，個体評価前に実際の設計変数の値を修正するか，仮想的に離散化して評価することが考えられるが，そもそも設計変数の離散化が RCGA の探索性能に与える影響については，これまで十分に議論が行われていなかった．

BCGA においては，設計変数のビット長を短くするほど解の収束速度が向上することが報告されている [?]．これは，設計変数のビット長を短くすることで，設計変数空間が粗く

離散化され，探索空間の縮小に繋がるためだと考えられている．1.1.1 は，異なるビット長を用いた際の探索空間の違いを示しており，格子点が各ビット長を用いた際の探索点を表している．1.1.1 からわかるようにビット長を短くすることで，設計変数空間が粗く離散化され探索空間が減少していることがわかる．この性質を活かし，BCGA ではビット長を探索の中で動的に変化させることで探索速度を向上させる手法が提案されている [?, ?].

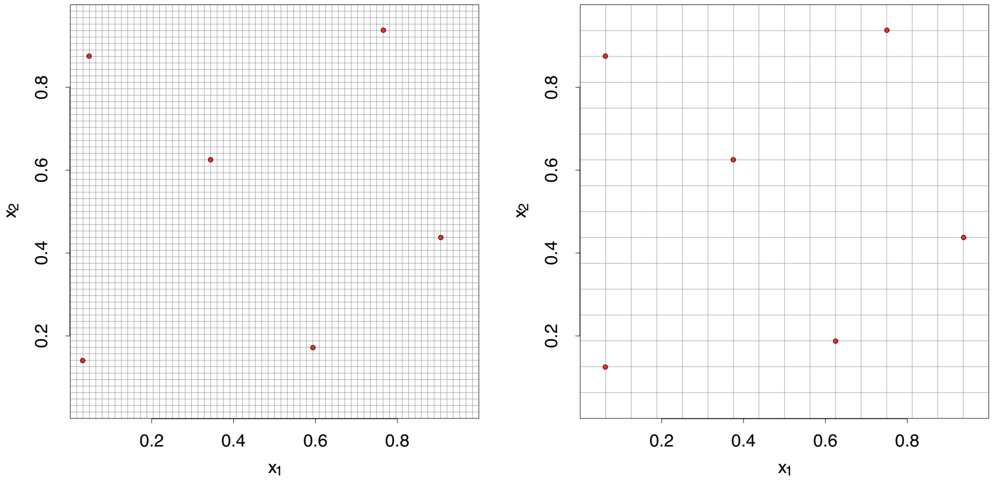
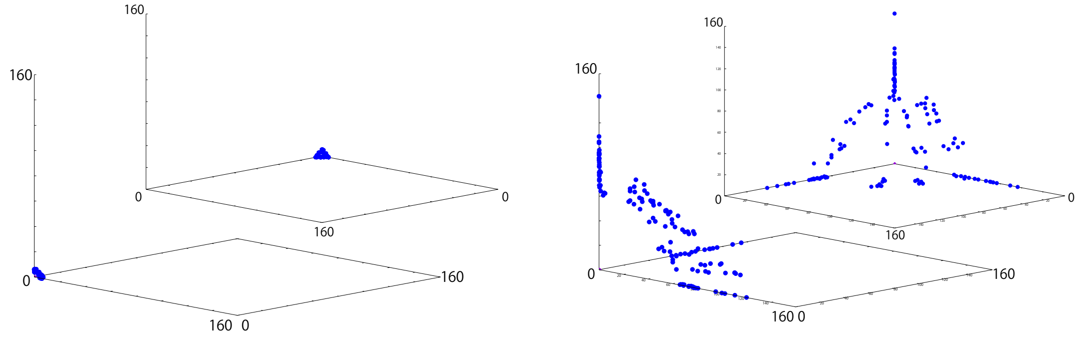


図 1.1.1: 離散化による探索空間のイメージ図 (左：ビット長 6 を用いた 0-1 の二変数の探索範囲　右：ビット長 4 を用いた 0-1 の二変数の探索範囲)

RCGA では BCGA のように設計変数を動的に離散化する手法の検討は進んでいない．設計変数の離散化が RCGA の探索性能に与える影響については，Kondo らの先行研究 [?] により代表的な実数値 GA である NSGA-II[] を用いて，設計変数の離散化が探索に及ぼす影響が評価されている．その結果の一部を 1.1.2，1.1.3 に示す．

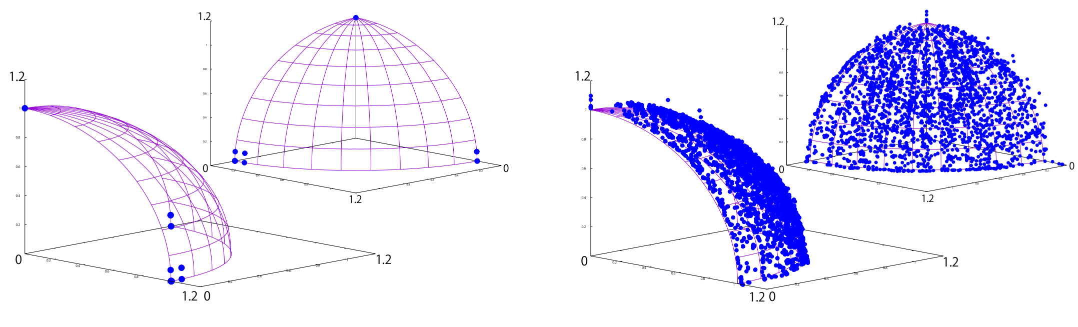
1.1.2 は DTLZ3 と呼ばれるベンチマーク問題において，粗い離散化を行った設計変数を用いた場合と連続値に近い設計変数を用いた場合それぞれにおいて同じ評価回数で得られた非劣解の分布を示したものである．各軸はそれぞれ目的関数を示しており，青色の点は非劣解を示している．この問題は 3 目的の最小化問題として定式化されているため，図中の原点方向が最適化方向であり，原点に近い点ほど優れた個体を表している．1.1.2 より，粗く離散化を行った設計変数を用いた場合のほうが明らかに最適化方向である原点に近い個体が生成されている．このことから，DTLZ3 では粗く設計変数を離散化することで，解の収束性が向上することがわかった．この傾向は他の多くのベンチマーク問題においても確認されている．



(a) 粗く離散化を行った設計変数を用いた場合　(b) 連続値に近い設計変数を用いた場合

図 1.1.2: DTLZ3 における設計変数の離散化の有無による非劣解の比較

1.1.3 は DTLZ4 と呼ばれるベンチマーク問題において，粗い離散化を行った設計変数を用いた場合と連続値に近い設計変数を用いた場合それぞれにおいて同じ評価回数で得られた非劣解の分布を示したものである．各軸はそれぞれ目的関数を，青色の点は非劣解を，紫の線は真のパレート最適解の形状を示したものである．この問題は 3 目的の最小化問題として定式化されているため，図中の原点方向が最適化方向であり，真のパレート最適解に近い点ほど優れた個体を表している．また，多目的最適化では，単に真のパレート最適解に近い解が得られるだけでなく，真のパレート最適解を覆うような多様な解が生成されることも求められる．1.1.3 より，粗く離散化を行った設計変数を用いた場合は，真のパレート最適解に対して局所的にしか解が生成されておらず，解の多様性という観点では悪い結果となっている．一方で，連続値に近い設計変数を用いた場合は，真のパレート最適解を覆うように解が生成されており，解の多様性が良いことが分かる．このように，問題によっては設計変数を粗く離散化しすぎてしまうと，解の多様性が失われる可能性があることがわかっている．



(a) 粗く離散化を行った設計変数を用いた場合　(b) 連続値に近い設計変数を用いた場合

図 1.1.3: DTLZ4 における設計変数の離散化の有無による非劣解の比較

以上の先行研究の結果から，問題によって各設計変数を適切に離散化することで，RCGA

においても効率的に探索することが可能であると考えられる．

しかしながら，最適化を行う前に各設計変数を適切に離散化することは難しく課題となっていた．

1.2　研究目的

上述した通り，問題によって各設計変数を適切に離散化することで，効率的に探索することが期待できるが，最適化を行う前に各設計変数を適切に離散化することは難しい．そこで，本研究では，RCGA における設計変数空間の適応的離散化手法を提案する．RCGA において提案手法を用いて適応的に設計変数を離散化することにより，解の多様性を維持しながらも収束性を向上させられることが期待される．ここでは，各設計変数空間における解の分布状態を評価し，それを基に鉄鋼的に書く設計変数を離散化することを考える．RCGA としては NSGA-II に提案手法を適用し，22 個のベンチマーク問題を対象に提案手法の有効性を検証する．

1.3　本論文の構成

本論文は「実数値 GA における設計変数の有効桁数の影響評価」と題し，5 章より構成されている．

第 1 章「序論」では，本研究を取り組むにあたっての背景と課題を説明し，本研究の目的を明らかにすることで，本研究の必要性を論じる．

第 2 章「多目的最適化」では，本研究で取り扱う多目的最適化について論じる．多目的最適化問題及び，多目的最適化における進化計算，遺伝的アルゴリズムなど，本研究に関わる内容を中心にまとめる．

第 3 章「実験で用いる多目的最適化テスト問題」では，本研究で扱うテスト問題の構造と特徴について論じる．テスト問題とは，すでに真の解が既知である問題で，進化計算などの最適化プログラムの動作性能や，解の探索力を調べるために用いられる．今までに様々なテスト問題が提案されているが，今回は DTLZ というテスト問題を使用し，研究を行う．

第 4 章「数値実験の結果と考察」では，「設計変数の有効桁数の影響」を検証する．そのためのアプローチとして，第 3 章で示した 3 つのテスト問題を用いて数値実験を行う．はじ

めに，数値実験の計算の条件と用いる評価方法を解説を行う．次に，数値実験の結果を図示し，得られた複数の結果を比較することで,「設計変数の有効桁数の影響」の検証を図る．また，得られた結果の原因について，交叉法や突然変異法など，様々な要因を考察する．

第５章「結論」では，本研究で得られた結果を総括し，結論を述べる．また，本研究で得られた結果から，今後の課題と展望について論じる．