お客様各位

カタログ等資料中の旧社名の扱いについて

2010 年 4 月 1 日を以って NEC エレクトロニクス株式会社及び株式会社ルネサステクノロジが合併し、両社の全ての事業が当社に承継されております。従いまして、本資料中には旧社名での表記が残っておりますが、当社の資料として有効ですので、ご理解の程宜しくお願い申し上げます。

ルネサスエレクトロニクス ホームページ（http://www.renesas.com）

2010 年 4 月 1 日
ルネサスエレクトロニクス株式会社

【発行】ルネサスエレクトロニクス株式会社（http://www.renesas.com）

【問い合わせ先】http://japan.renesas.com/inquiry

ご注意書き

1．本資料に記載されている内容は本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。当社製品のご購入およびご使用にあたりましては、事前に当社営業窓口で最新の情報をご確認いただきますとともに、当社ホームページなどを通じて公開される情報に常にご注意ください。

2. 本資料に記載された当社製品および技術情報の使用に関連し発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権の侵害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。

3. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。

4. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器の設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。

5. 輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。本資料に記載されている当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事用途の目的で使用しないでください。また、当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器に使用することができません。

6. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したものですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。

7. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」、「高品質水準」および「特定水準」に分類しております。また、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使われることを意図しておりますので、当社製品の品質水準をご確認ください。お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途に当社製品を使用することができません。また、お客様は、当社の文書による事前の承諾を得ることなく、意図されていない用途に当社製品を使用することができません。当社の文書による事前の承諾を得ることなく、「特定水準」に分類された用途または意図されていない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、当社は、一切その責任を負いません。なお、当社製品のデータ・シート、データ・ブック等の資料で特に品質水準の表示がない場合は、標準水準製品であることを表します。

標準水準：　コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット

高品質水準：輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、防災・防犯装置、各種安全装置、生命維持を目的として設計されていない医療機器（厚生労働省定義の管理医療機器に相当）

特定水準：　航空機器、航空宇宙機器、海底中継機器、原子力制御システム、生命維持のための医療機器（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの、治療行為（患部切り出し等）を行うもの、その他直接人命に影響を与えるもの）（厚生労働省定義の高度管理医療機器に相当）またはシステム等

8. 本資料に記載された当社製品のご使用につき、特に、最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他諸条件につきましては、当社保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。

9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害などを生じさせないようお客様の責任において冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、機器またはシステムとしての出荷保証をお願いいたします。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様が製造された最終の機器・システムとしての安全検証をお願いいたします。

10. 当社製品の環境適合性等、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。

11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを固くお断りいたします。

12. 本資料に関する詳細についてのお問い合わせその他お気付きの点等がございましたら当社営業窓口までご照会ください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサスエレクトロニクス株式会社およびルネサスエレクトロニクス株式会社がその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

M16C/60シリーズ,M16C/20シリーズ
プログラム作成の手引き<C言語編>

はじめに

このプログラム作成の手引きは、　ルネサスCMOS16ビットマイクロコンピュータM16C/60シリーズ、M16C/20シリーズ用のCコンパイラNC30を用いて、C言語の基礎からROM化、リアルタイムOS(MR30)の使用方法までを説明しています。C言語の入門書として、またプログラム作成時の参考資料として使用してください。

なお、M16C/60シリーズ、M16C/20シリーズ各品種のハードウエア、および開発サポートツールにつきましては、各ユーザーズマニュアル、および各操作説明書を使用してください。

本書の使い方

本書はM16C/60シリーズ、M16C/20シリーズ用CコンパイラNC30のプログラミングマニュアルです。

本書を使用する上で、M16C/60シリーズ、M16C/20シリーズのアーキテクチャ、およびアセンブリ言語に関する知識が必要です。

本書は３つの章で構成されています。以下に目的に応じた参照先を示します。

○はじめてC言語を学習される方　→第１章から
○NC30の拡張機能を知りたい方　→第２章から
○ リアルタイムOS MR30を使用される方→第３章から

さらに巻末には付録として、「NC30とNC77の機能比較」、「nc30コマンドリファレンス」と「Q＆A」を記載しています。

目次

第１章　C 言語入門　14

1.1　C 言語によるプログラミング 15
1.1.1　アセンブリ言語と C 言語 15
1.1.2　プログラム開発の手順 16
1.1.3　わかりやすいプログラム 18
1.2　データ型 22
1.2.1　C 言語で扱える “ 定数 ” 22
1.2.2　変数 24
1.2.3　データの特性 26
1.3　演算子 28
1.3.1　NC30 の演算子 28
1.3.2　数値計算のための演算子 29
1.3.3　データ加工のための演算子 31
1.3.4　条件を調べるための演算子 33
1.3.5　その他の演算子 34
1.3.6　演算子の優先順位 36
1.4　制御文 37
1.4.1　プログラムの構造化 37
1.4.2　条件による処理の分岐（分岐処理） 38
1.4.3　同じ処理の繰り返し（繰り返し処理） 42
1.4.4　処理の中断 45
1.5　関数 47
1.5.1　関数とサブルーチン 47
1.5.2　関数の作成 48
1.5.3　関数間でのデータの受け渡し 50
1.6　記憶クラス 51
1.6.1　変数と関数の有効範囲 51
1.6.2　変数の記憶クラス 52
1.6.3　関数の記憶クラス 54
1.7　配列とポインタ 56
1.7.1　配列 56
1.7.2　配列の作成 57
1.7.3　ポインタ 59
1.7.4　ポインタの活用 61
1.7.5　ポインタの配列化 63
1.7.6　関数ポインタを使ったテーブルジャンプ 65
1.8　構造体と共用体 67
1.8.1　構造体と共用体 67
1.8.2　新しいデータ型の作成 68

1.9 プリプロセスコマンド 72
1.9.1 NC30 のプリプロセスコマンド 72
1.9.2 ファイルの取り込み 73
1.9.3 マクロ定義 74
1.9.4 条件コンパイル 76

第２章　ＲＯＭ化技術 78

2.1 メモリ配置 79
2.1.1 コード／データの種類 79
2.1.2 NC30 が管理するセクション 80
2.1.3 メモリ配置の制御 82
2.1.4 構造体のメモリ配置の制御 84

2.2 スタートアッププログラム 86
2.2.1 スタートアッププログラムの役割 86
2.2.2 スタック使用量の見積もり 88
2.2.3 スタートアッププログラムの作成 91

2.3 ROM 化のための拡張機能 98
2.3.1 効率よいアドレッシング 98
2.3.2 ビットの扱い 102
2.3.3 Ｉ／Ｏインタフェースの制御 104
2.3.4 C 言語で書けないときの対処策 106

2.4 アセンブリ言語とのリンク 108
2.4.1 関数間のインタフェース 108
2.4.2 C 言語からのアセンブリ言語の呼び出し 113
2.4.3 アセンブリ言語からの C 言語の呼び出し 119

2.5 割り込み処理 120
2.5.1 割り込み処理関数の記述 120
2.5.2 割り込み処理関数を登録する 123
2.5.3 割り込み処理関数の記述例 124

第３章　リアルタイム OS(MR30)の使用126

3.1 リアルタイム OS の基礎 127
3.1.1 リアルタイム OS とタスク 127
3.1.2 リアルタイム OS の機能 130
3.1.3 割り込み管理 133
3.1.4 特殊なハンドラ 136

3.2 システムコールの利用法 137
3.2.1 MR30 のシステムコール 137
3.2.2 システムコールの記述方法 138

3.3　MR30 を用いた開発手順 141
3.3.1　開発時に必要なファイル 141
3.3.2　MR30 を用いた開発の流れ 146
3.4　NC30 を用いた MR30 の組み込み 147
3.4.1　NC30 を用いたプログラムの記述 147
3.4.2　NC30 を用いたタスクの記述 149
3.4.3　割り込みハンドラの記述 153
3.4.4　周期起動ハンドラ、アラームハンドラの記述 157

付　録 159

付録Ａ　NC30 と NC77 の機能比較 160
付録Ｂ　NC30 コマンドリファレンス 163
付録Ｃ　Ｑ＆Ａ 169

図目次

第１章　C 言語入門 14

1.1 C 言語によるプログラミング 15
図 1.1.1 NC30 の製品一覧 16
図 1.1.2 ソースファイルから機械語ファイルができるまで 17
図 1.1.3 C 言語のソースファイルの構成 18
図 1.1.4 C 言語プログラムのプログラミングスタイルの例 19
図 1.1.5 コメントの利用例 C 言語入門 20

1.2 データ型 22
図 1.2.1 1 と '1' の違い 22
図 1.2.2 { 'a' , 'b' }と "ab" の違い 23
図 1.2.3 変数の宣言 25
図 1.2.4 型修飾子 " signed ／ unsigned " の記述例 26
図 1.2.5 型修飾子 " const " の記述例 26
図 1.2.6 型修飾子 " volatile " の記述例 27
図 1.2.7 宣言の構文 27

1.3 演算子 28
図 1.3.1 型の違うデータを代入する 30
図 1.3.2 算術シフトと論理シフト 32
図 1.3.3 条件演算子の利用例 34

1.4 制御文 37
図 1.4.1 if － else 文の記述例 38
図 1.4.2 else － if 文の記述例 39
図 1.4.3 switch － case 文の記述例 40
図 1.4.4 break を入れない switch － case 文 41
図 1.4.5 while 文の記述例 42
図 1.4.6 for 文の記述例 43
図 1.4.7 do － while 文の記述例 44
図 1.4.8 break 文の記述例 45
図 1.4.9 continue 文の記述例 45
図 1.4.10 goto 文の働き 46

1.5 関数 47
図 1.5.1 「サブルーチン」と「関数」 47
図 1.5.2 関数の記述例 49

1.6 記憶クラス 51
図 1.6.1 C 言語プログラムの階層構造と記憶クラス 51
図 1.6.2 外部変数と内部変数 52
図 1.6.3 外部変数の記憶クラス 53
図 1.6.4 内部変数の記憶クラス 53
図 1.6.5 関数の記憶クラス 54

1.7 配列とポインタ 56
図 1.7.1 配列の概念 56
図 1.7.2 １次元配列の宣言とメモリ配置 57
図 1.7.3 ２次元配列の宣言とメモリ配置 58
図 1.7.4 ポインタ変数の宣言とメモリ配置 59
図 1.7.5 ポインタ変数と変数の関係 60
図 1.7.6 ポインタ変数と１次元配列 61
図 1.7.7 ポインタ変数と２次元配列 61
図 1.7.8 アドレス渡しの例（配列を受け渡しする） 62
図 1.7.9 ポインタ配列の宣言と初期化 63
図 1.7.10 ２次元配列とポインタ配列の違い 64

1.8 構造体と共用体 67
図 1.8.1 基本データ型から構造体へ 67
図 1.8.2 構造体の宣言とメモリ配置 69
図 1.8.3 ポインタを使った参照例 70
図 1.8.4 共用体の宣言と参照 71
図 1.8.5 型定義 " typedef " の使用例 71

1.9 プリプロセスコマンド 72
図 1.9.1 " #include " 記述例 73
図 1.9.2 定数の定義例 74
図 1.9.3 文字列の定義例 74
図 1.9.4 マクロ関数の定義例 75
図 1.9.5 条件コンパイル記述例 77

第２章 ＲＯＭ化技術 78

2.1 メモリ配置 79
図 2.1.1 NC30 が生成するデータ／コードと配置領域 79
図 2.1.2 初期値を持つ静的変数の扱い 79
図 2.1.3 データの種類によるセクションへの配置 80
図 2.1.4 セクション名の命名規則 81
図 2.1.5 " #pragma SECTION " の記述例 82
図 2.1.6 const 修飾子とメモリ配置 83
図 2.1.7 NC30 デフォルトの構造体の割り付けイメージ 84
図 2.1.8 構造体メンバのパックの禁止 84
図 2.1.9 構造体メンバの配置の最適化 85

2.2 スタートアッププログラム 86
図 2.2.1 サンプルスタートアッププログラムの構成 87
図 2.2.2 スタック使用量情報ファイル 88
図 2.2.3 最大スタック使用量の計算方法 89
図 2.2.4 スタックサイズ算出ユーティリティ " stk30 " 90
図 2.2.5 サンプルスタートアッププログラムの変更点 91
図 2.2.6 heap 領域の設定 92
図 2.2.7 スタックサイズの設定 92

図 2.2.8　割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定 93
図 2.2.9　プロセッサ動作モードの設定 93
図 2.2.10　セクションの先頭アドレスの設定 94
図 2.2.11　可変ベクタテーブルの設定 95
図 2.2.12　固定ベクタテーブルの設定 96
図 2.2.13　シングルチップモードで使用するときの記述例 97

2.3　ROM 化のための拡張機能 98
図 2.3.1　静的変数の near ／ far 99
図 2.3.2　自動変数の near ／ far 99
図 2.3.3　ポインタに格納するアドレスサイズを指定 100
図 2.3.4　ポインタの配置領域を指定 100
図 2.3.5　" #pragma　SBDATA " の展開イメージ 101
図 2.3.6　ビットフィールドの割り付け例 102
図 2.3.7　" #pragma　BIT " の記述例 103
図 2.3.8　ポインタによる絶対アドレス指定 104
図 2.3.9　" #pragma　ADDRESS " による絶対アドレス指定 104
図 2.3.10　asm 関数の記述例 106
図 2.3.11　asm 関数で自動変数を使用する 106
図 2.3.12　" #pragma　ASM " 機能使用例 107
図 2.3.13　asm 関数を利用した部分的な最適化の抑止 107

2.4　アセンブリ言語とのリンク 108
図 2.4.1　関数の呼び出し動作 108
図 2.4.2　スタックフレームの構成 109
図 2.4.3　スタックフレームの構築 109
図 2.4.4　引数の引き渡し例 110
図 2.4.5　戻り値の引き渡し例 111
図 2.4.6　インライン記憶クラスの記述例 112
図 2.4.7　" #pragma　PARAMETER " の記述例 113
図 2.4.8　サブルーチンの呼び出し 114
図 2.4.9　間接アドレッシングでサブルーチンを呼び出す 116
図 2.4.10　C 言語関数の呼び出し 119

2.5　割り込み処理 120
図 2.5.1　割り込み処理関数の展開イメージ 120
図 2.5.2　高速割り込み処理関数の展開イメージ 121
図 2.5.3　" #pragma　INTCALL " 記述例 122
図 2.5.4　割り込みベクタテーブル（" sect30.inc "） 123
図 2.5.5　割り込み処理関数の記述例 124
図 2.5.6　割り込みベクタテーブルへの登録例 125

第３章　リアルタイム OS(MR30)の使用 126

3.1　リアルタイム OS の基礎 127
図 3.1.1　プログラムの複数タスクによる構成図 127
図 3.1.2　各タスク状態 (遷移図含む) 128

図 3.1.3 " TCB " の主な構造 130
図 3.1.4 タスク実行時の OS 依存割り込みハンドラの実行 134
図 3.1.5 多重割り込みでの OS 依存割り込みハンドラの実行 135

3.2 システムコールの利用法 137
図 3.2.1 MR30 が提供するシステムコールライブラリ 137
図 3.2.2 システムコールの記述 138
図 3.2.3 パラメータを持つシステムコールの記述 138
図 3.2.4 エラーコードの利用 139

3.3 MR30 を用いた開発手順 141
図 3.3.1 MR30 用スタートアッププログラムの処理概要 141
図 3.3.2 M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズ制御レジスタの初期化 142
図 3.3.3 割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定 143
図 3.3.4 周辺 I ／ O の初期化 143
図 3.3.5 メモリ配置の変更 144
図 3.3.6 コンフィグレーションファイルの概要 145
図 3.3.7 開発の流れ 146

3.4 NC30 を用いた MR30 の組み込み 147
図 3.4.1 タスクの記述例 149
図 3.4.2 タスクの記述例 150
図 3.4.3 タスクを記述する際の注意点－１－（static 型の関数について） 150
図 3.4.4 タスクを記述する際の注意点－２－（再スタートするタスクの変数の初期化） 151
図 3.4.5 変数の参照範囲例 152
図 3.4.6 OS 依存割り込みハンドラの記述例 153
図 3.4.7 OS 依存割り込みハンドラの記述例 154
図 3.4.8 OS 依存割り込みハンドラを記述する際の注意点（static 型の関数について） 154
図 3.4.9 外部変数を利用したデータのやり取りの記述例 155
図 3.4.10 メイルボックスを利用したデータのやり取りの記述例 156
図 3.4.11 周期起動ハンドラ、アラームハンドラの記述例 157
図 3.4.12 周期起動ハンドラの記述例 158
図 3.4.13 周期起動ハンドラの記述例（誤りの例） 158

付　録 159

付録 A　NC30 と NC77 の機能比較 160

付録 B　NC30 コマンドリファレンス 163

付録 C　Q & A 169
図 C.1 構造体の転送の記述例 169
図 C.2 "#pragma　SBDATA" の記述例 171
図 C.3 ".OPTJ　JMPW,JSRW" の設定例 171

表目次

第１章　Ｃ言語入門　14

1.1　C 言語によるプログラミング 15
表 1.1.1　C 言語とアセンブリ言語との比較 15
表 1.1.2　NC30 の予約語一覧 21

1.2　データ型 22
表 1.2.1　整数定数の表記方法 22
表 1.2.2　C 言語のエスケープシーケンス 23
表 1.2.3　NC30 の基本データ型 24

1.3　演算子 28
表 1.3.1　NC30 の演算子一覧 28
表 1.3.2　単項算術演算子一覧 29
表 1.3.3　二項算術演算子一覧 29
表 1.3.4　代入演算子一覧 30
表 1.3.5　ビット演算子一覧 31
表 1.3.6　シフト演算子一覧 31
表 1.3.7　関係演算子一覧 33
表 1.3.8　論理演算子一覧 33
表 1.3.9　条件演算子 34
表 1.3.10　sizeof 演算子 34
表 1.3.11　キャスト演算子 35
表 1.3.12　コンマ演算子 35
表 1.3.13　演算子の優先順位 36

1.4　制御文 37
表 1.4.1　構造化プログラミングの３つの基本形 37

1.5　関数 47

1.6　記憶クラス 51
表 1.6.1　変数の記憶クラス 55
表 1.6.2　関数の記憶クラス 55

1.7　配列とポインタ 56

1.8　構造体と共用体 67

1.9　プリプロセスコマンド 72
表 1.9.1　NC30 の主なプリプロセスコマンド 72
表 1.9.2　条件コンパイル一覧 76

第２章　ＲＯＭ化技術 78

2.1　メモリ配置 79
表 2.1.1　NC30 のセクション構成 80
表 2.1.2　セクションの属性 81

2.2　スタートアッププログラム 86

2.3　ROM 化のための拡張機能 98
　表 2.3.1　near 領域と far 領域 98
　表 2.3.2　near ／ far 属性のデフォルト 98

2.4　アセンブリ言語とのリンク 108
　表 2.4.1　引数の引き渡し規則 110
　表 2.4.2　戻り値の引き渡し規則 111
　表 2.4.3　シンボル変換規則 112

2.5　割り込み処理 120

第３章　リアルタイム OS(MR30)の使用126

3.1　リアルタイム OS の基礎 127
　表 3.1.1　タスクのスタイル 127
　表 3.1.2　MR30 のオブジェクト 131
　表 3.1.3　オブジェクト操作のための主なシステムコール 132
　表 3.1.4　割り込みハンドラの種類 133
　表 3.1.5　リアルタイム OS が用意する割り込みハンドラ 136
　表 3.1.6　特殊なハンドラ 136

3.2　システムコールの利用法 137
　表 3.2.1　エラーコード一覧 （注) 139
　表 3.2.2　データタイプと文字 140

3.3　MR30 を用いた開発手順 141
　表 3.3.1　MR30 用メモリ配置関連ファイル 145

3.4　NC30 を用いた MR30 の組み込み 147
　表 3.4.1　MR30 を使用するためのインクルードファイル 147
　表 3.4.2　MR30 用拡張命令一覧 148
　表 3.4.3　変数の参照範囲 152

付　録 159

付録 A　NC30 と NC77 の機能比較 160
　表 A.1　セクションに関する機能比較 160
　表 A.2　機能変更された拡張機能 161
　表 A.3　追加された拡張機能 161
　表 A.4　NC30 ではサポートしていない拡張機能 162
　表 A.5　NC77 との互換性のための拡張機能と NC30 での推奨例 162

付録 B　NC30 コマンドリファレンス 163
　表 B.1　コンパイルドライバの制御に関するオプション 163
　表 B.2　出力ファイル指定オプション 164
　表 B.3　バージョン情報表示オプション 164
　表 B.4　デバッグ用オプション 164
　表 B.5　警告オプション 165

表 B.6　最適化オプション 165
表 B.7　ライブラリ指定オプション 166
表 B.8　アセンブル・リンクオプション 166
表 B.9　生成コード変更オプション 167
表 B.10　その他のオプション 167

付録 C　Q & A 169

例目次

第１章　C言語入門　14

1.1 C 言語によるプログラミング 15
1.2 データ型 22
1.3 演算子 28
1.4 制御文 37
例 1.4.1 カウントアップ（ if － else 文の記述例） 38
例 1.4.2 四則演算の切り換え－１（ else － if 文の記述例） 39
例 1.4.3 四則演算の切り換え－２－（ switch － case 文の記述例） 40
例 1.4.4 総和を求める－１－（ while 文の記述例） 42
例 1.4.5 総和を求める－２－（ for 文の記述例） 43
例 1.4.6 総和を求める－３－（ do － while 文の記述例） 44
1.5 関数 47
例 1.5.1 和を求める（関数の記述例） 50
1.6 記憶クラス 51
1.7 配列とポインタ 56
例 1.7.1 家族の年齢の合計を求める－１－ 56
例 1.7.2 家族の年齢の合計を求める－２－ 57
例 1.7.3 テーブルジャンプを使った四則演算の切り換え 66
1.8 構造体と共用体 67
1.9 プリプロセスコマンド 72

第２章　ＲＯＭ化技術 78

2.1 メモリ配置 79
2.2 スタートアッププログラム 86
2.3 ROM 化のための拡張機能 98
例 2.3.1 " #pragma　ADDRESS " を利用した SFR 領域の定義 105
2.4 アセンブリ言語とのリンク 108
例 2.4.1 サブルーチンを呼び出す 115
例 2.4.2 テーブルジャンプでサブルーチンを呼び出す 117
例 2.4.3 少し変わったテーブルジャンプの使い方 118
2.5 割り込み処理 120

第３章　リアルタイム OS(MR30)の使用126

3.1 リアルタイム OS の基礎 127
3.2 システムコールの利用法 137
3.3 MR30 を用いた開発手順 141
3.4 NC30 を用いた MR30 の組み込み 14

付　録 159

付録Ａ　NC30 と NC77 の機能比較 160

付録Ｂ　NC30 コマンドリファレンス 163

付録Ｃ　Ｑ＆Ａ 169

第 1 章

C 言語入門

1.1 C 言語によるプログラミング
1.2 データ型
1.3 演算子
1.4 制御文
1.5 関数
1.6 記憶クラス
1.7 配列とポインタ
1.8 構造体と共用体
1.9 プリプロセスコマンド

この章では、初めて C 言語をお使いになる方を対象に、組み込み型プログラムを作成するために必要な C 言語の基礎を紹介しています。

1.1 C 言語によるプログラミング

1.1.1 アセンブリ言語と C 言語

近年の、マイクロコンピュータを利用したシステムの大規模化にともない、プログラムの生産性や保守性が注目され始めました。これとともにプログラムの開発言語として、従来のアセンブリ言語にかわり「C言語」を使用するケースが増えています。

以下の項では、主な C 言語の特長と、C 言語によるプログラムの記述方法を説明します。

C 言語の特長

(1) 処理の流れを追いやすいプログラムが記述できる

構造化プログラミングの基本である「順次処理」、「分岐処理」、「繰り返し処理」をすべて制御文で記述できます。このため、処理の流れを追いやすいプログラムが記述できます。

(2) モジュール分割が容易にできる

C 言語で記述したプログラムは「関数」と呼ばれる基本単位から構成されています。関数はパラメータの独立性が高いため、プログラムの部品化や再利用が容易にできます。また、アセンブリ言語で記述したモジュールをそのまま流用できます。

(3) 保守性のよいプログラムを記述できる

(1)、(2) の理由から、運用後のプログラムのメンテナンスが容易にできます。また、C 言語としての標準規格（ANSI 規格 (注)）が定められているため、ソースプログラムを少し変更するだけで他機種への移植も可能です。

C 言語とアセンブリ言語の比較

ソースプログラムの記述方法に関して、アセンブリ言語との違いを表 1.1.1 にまとめます。

表 1.1.1　C 言語とアセンブリ言語との比較

	C 言語	アセンブリ言語
プログラムの基本単位（記述方法）	関数（関数名 ( ) { }）	サブルーチン（サブルーチン名 : ）
書式	フリーフォーマット	１行１命令
大文字／小文字の区別	大文字と小文字を区別する（通常は小文字で記述する）	区別しない
データ領域の確保	「データ型」で指定する	バイト数で指定する（疑似命令を使用する）
入出力命令	入出力命令なし	入出力命令あり（ただし、H／Wに依存）

（注） C 言語の移植性を保つために、ANSI（American National Standards Institute）で定められた C 言語の標準規格です。

1.1.2　プログラム開発の手順

C 言語で記述されたソースプログラムを機械語に翻訳する作業を「コンパイル作業」といいます。この作業を行うために用意されたソフトウェアが「コンパイラ」です。

この項では、ルネサスシングルチップマイクロコンピュータ M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズ用 C コンパイラ「NC30」を用いてプログラム開発を行う手順を説明します。

NC30 の製品一覧

ルネサスシングルチップマイクロコンピュータ M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズ用 C コンパイラ NC30 に含まれる製品の一覧を図 1.1.1 に示します。

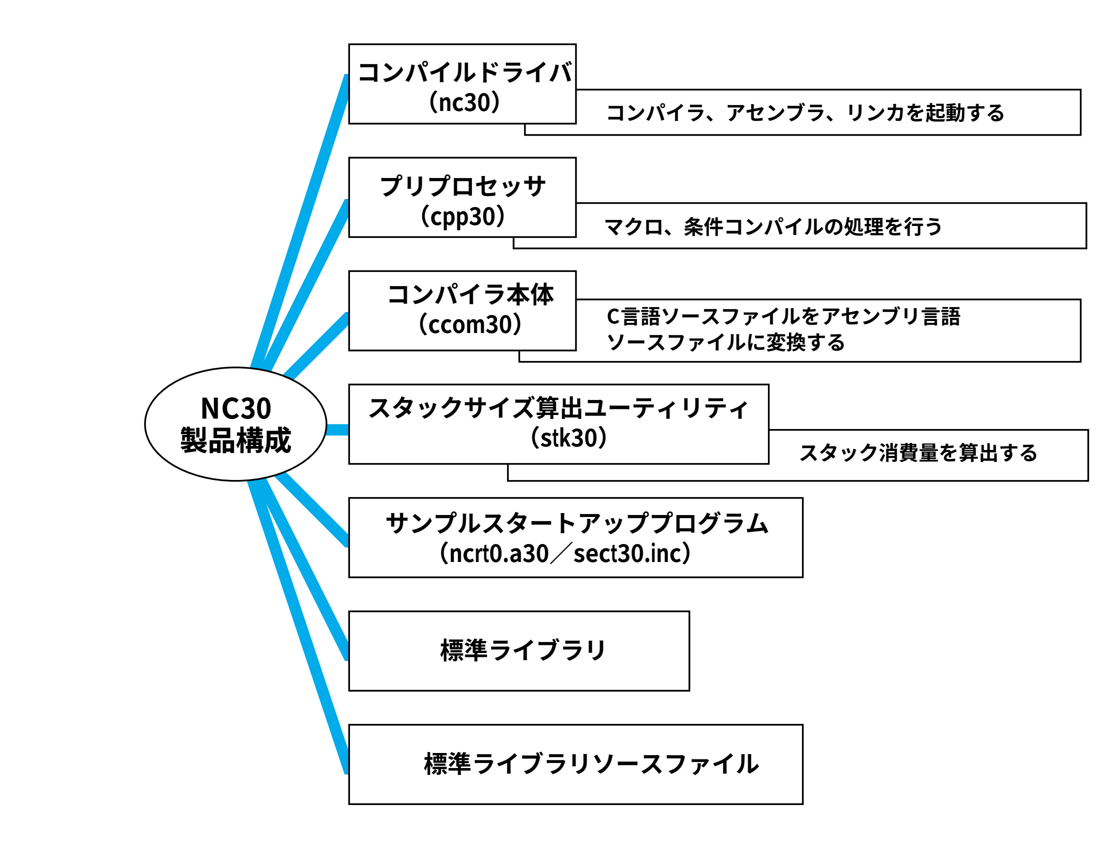


図 1.1.1　NC30 の製品一覧

ソースファイルから機械語ファイルができるまで

NC30 で機械語ファイルを生成するには、C 言語でプログラムを記述したソースファイルのほかに、アセンブリ
言語で記述したスタートアッププログラムが必要です。

機械語ファイルができるまでのツールチェーンを図 1.1.2 に示します。

C言語
ソースファイル
コンパイルドライバ　nc30
プリプロセッサ　ccp30
コンパイラ本体　ccom30
スタートアッププログラム
sect30.inc
ncrt0.a30
アセンブリ言語
ソースファイル
アセンブリ言語
ソースファイル
スタック使用量
情報ファイル
リロケータブルアセンブラ
as30
スタックサイズ算出
ユーティリティ
stk30
ライブラリ
リロケータブル
ファイル
リロケータブル
ファイル
スタック使用量
算出結果表示
ファイル
リンケージエディタ　ln30
ロードモジュールコンバータ　lmc30
機械語ファイル
ROMへ
ファイル名 ：ユーザが用意するファイル（ライブラリも含む）
ファイル名 ：NC30が生成するファイル
ソフトウェア ：NC30製品中に含まれるソフトウェア
ソフトウェア ：AS30製品中に含まれるソフトウェア

図 1.1.2　ソースファイルから機械語ファイルができるまで

1.1.3 わかりやすいプログラム

C言語のプログラムはフリーフォーマット形式なので、ある一定の規則を守ればあとは自由にプログラムを記述できます。しかし、プログラムは読みやすく、かつ保守性の高いものにする必要があり、そのためにはいつ誰が見てもそのプログラムを理解できるように記述しなければなりません。

この項では、「わかりやすいプログラム」を記述するためのポイントを説明します。

C 言語の規則

C 言語プログラムを記述するにあたって、守らなければならない規則は次の 6 項目です。

(1)プログラムは原則的に英小文字で記述する。
(2) プログラムの実行文は「；」で区切る。
(3) 関数や制御文の実行単位は「{」「}」で囲む。
(4) 関数や変数は型宣言が必要である。
(5) 予約語は識別子（関数名、変数名など）に使用できない。
(6) コメントは「/＊　コメント　＊/」で記述する。

C 言語のソースファイルの構成

一般的な C 言語のソースファイルの構成を図 1.1.3 にまとめます。各項目については矢印で示す節を参照してください。

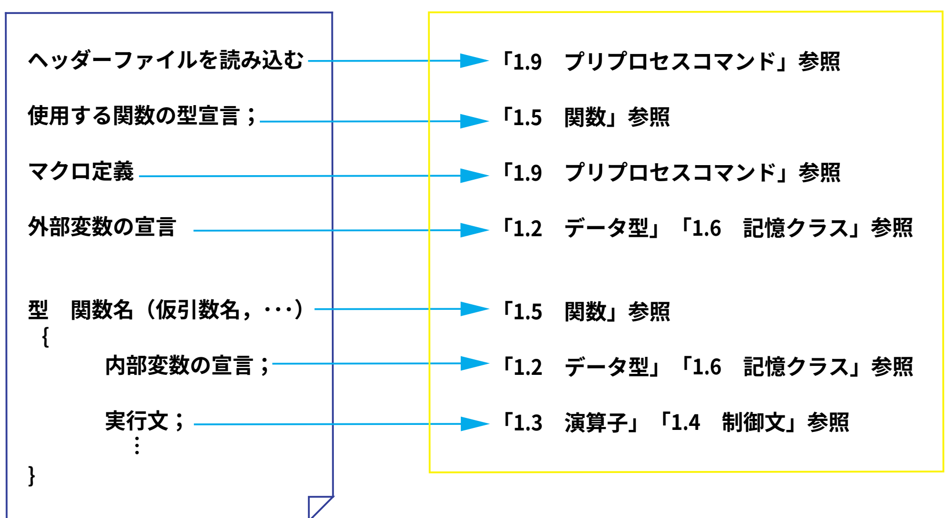


図 1.1.3　C 言語のソースファイルの構成

プログラミングスタイル

プログラムの保守性を高めるためには、開発者の間でプログラムリストのテンプレートを定めます。これを「プログラミングスタイル」として共有し、誰もが読みやすく、誰もがメンテナンスできるソースプログラムを目指します。図 1.1.4 にプログラミングスタイルの一例を示します。

(1) 機能ごとに関数にする。
(2) １つの関数内の処理を必要以上に大きくしない（50 行前後が目安)。
(3) １つの行に複数の実行文は書かない。
(4) 処理ブロックごとに字下げを行う（通常は 4 タブを使用)。
(5) コメント文を効果的に記述してプログラムの流れを明確にする。
(6) プログラムを複数のソースファイルから作成する場合は、共通部分を独立した別のファイルにして共有する。

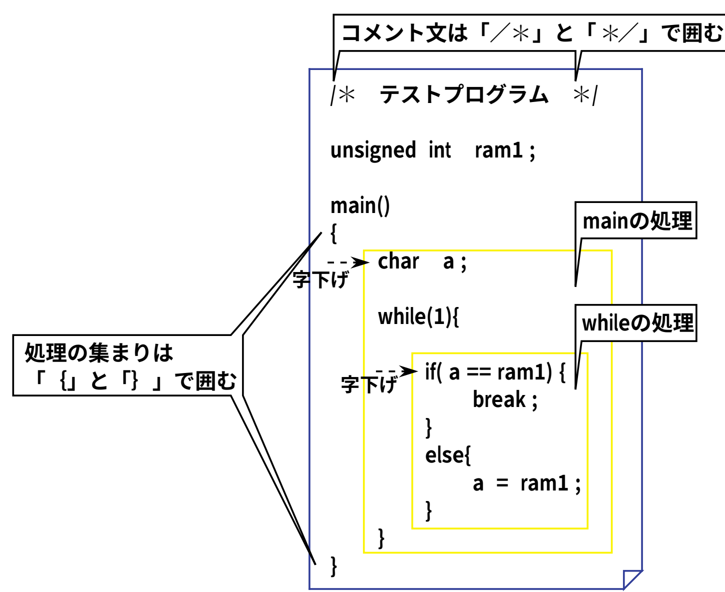
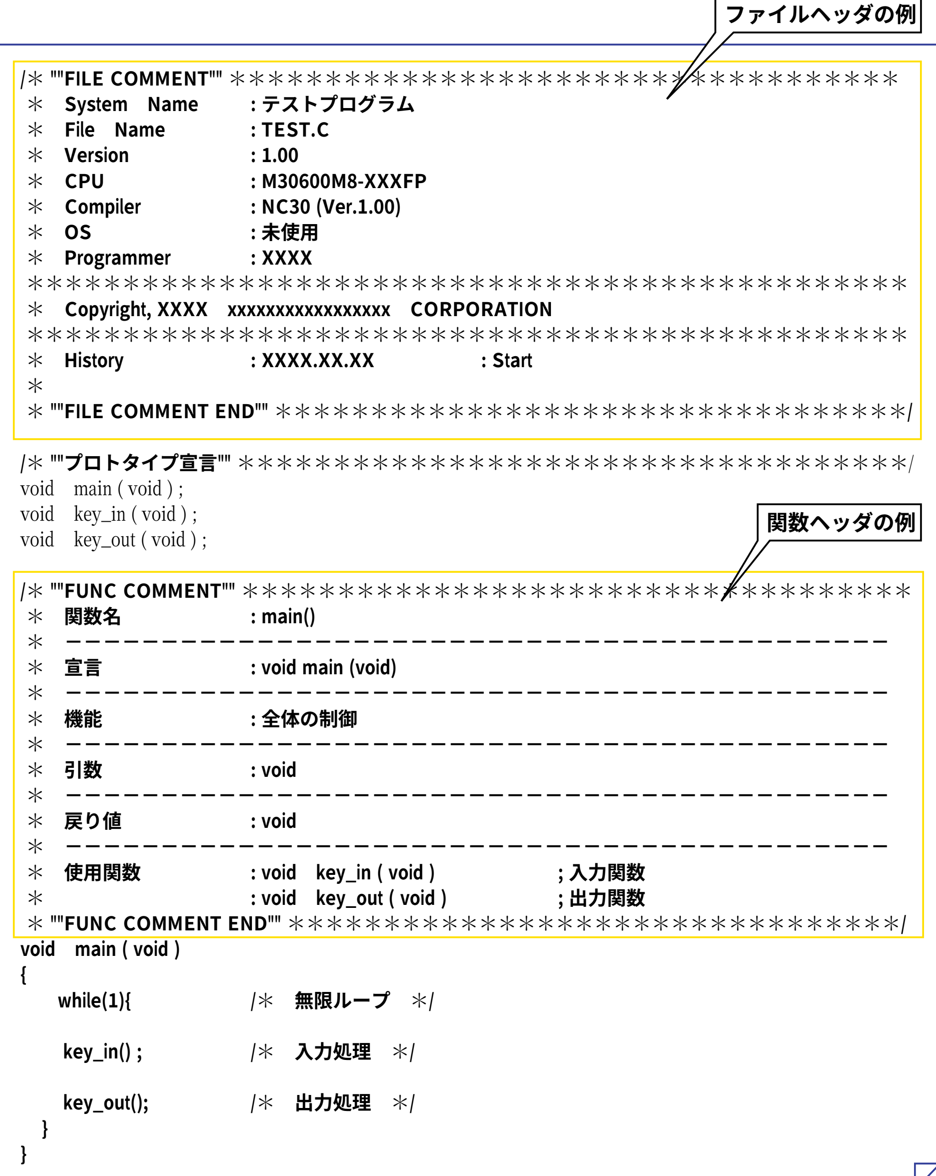


図 1.1.4　C 言語プログラムのプログラミングスタイルの例

コメント文の記述方法

コメント文の記述方法も､読みやすいプログラムを書くための重要なポイントになります｡ヘッダとしてファイルや関数の機能を明示したり、プログラムの流れを明確にします。




```
/＊ ""FILE COMMENT"" ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊
 ＊  System   Name        : テストプログラム
 ＊  File   Name          : TEST.C
 ＊  Version              : 1.00
 ＊  CPU                  : M30600M8-XXXFP
 ＊  Compiler             : NC30 (Ver.1.00)
 ＊  OS                   : 未使用
 ＊  Programmer           : XXXX
 ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊
 ＊  Copyright, XXXX   xxxxxxxxxxxxxxxxx   CORPORATION
 ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊
 ＊  History              : XXXX.XX.XX           : Start
 ＊
 ＊ ""FILE COMMENT END"" ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊/

/＊ ""プロトタイプ宣言"" ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊/
void   main ( void ) ;
void   key_in ( void ) ;
void   key_out ( void ) ;

/＊ ""FUNC COMMENT"" ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊
 ＊  関数名               : main()
 ＊  －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－
 ＊  宣言                 : void main (void)
 ＊  －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－
 ＊  機能                 : 全体の制御
 ＊  －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－
 ＊  引数                 : void
 ＊  －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－
 ＊  戻り値               : void
 ＊  －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－
 ＊  使用関数             : void   key_in ( void )          ; 入力関数
 ＊                       : void   key_out ( void )         ; 出力関数
 ＊ ""FUNC COMMENT END"" ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊/
void   main ( void )
{
     while(1){            /＊  無限ループ  ＊/

      key_in() ;          /＊  入力処理  ＊/

      key_out();          /＊  出力処理  ＊/
   }
}
```

図 1.1.5　コメントの利用例Ｃ言語入門

コラム　NC30 の予約語

表 1.1.2 に示す語は NC30 の予約語になっていますので、変数名や関数名には使用できません。

表 1.1.2　NC30 の予約語一覧

_asm	const	far	register	switch
_far	continue	float	return	typedef
_near	default	for	short	union
asm	do	goto	signed	unsigned
auto	double	if	sizeof	void
break	else	int	static	volatile
case	enum	long	struct	while
char	extern	near		

1.2　データ型

1.2.1　C 言語で扱える“ 定数 ”

C 言語では「整数」、「実数」、「1 文字」、「文字列」の４種類の定数を扱うことができます。
この項では、それぞれの定数を使用するときの記述方法と注意点をまとめます。

整数定数

整数定数は 10 進数、16 進数および 8 進数の 3 種類の方法で記述できます。それぞれの表記方法を表 1.2.1 に示します。また、定数データの場合は大文字と小文字を区別しません。

表 1.2.1　整数定数の表記方法

種類	表記方法	例
１０進数	通常の数学表記（何も付けない）	127 , +127 , −56
１６進数	数字の前に「0x（ゼロ・エックス）」または「0X」を付ける	0x3b , 0X3B
８進数	数字の前に「0（ゼロ）」を付ける	07 , 041

実数定数（浮動小数点定数）

符号付きの実数を 10 進数で表記したものを「浮動小数点定数」といいます。表記方法としては通常の小数点表記と、「e」または「E」を用いた指数表記が記述できます。

① 通常の小数点表記　　　　　　　例： 175.5 , − 0.007
②「e」または「E」を用いた指数表記　　例： 1.755e2 , − 7.0E − 3

１文字定数

1 文字定数はシングルクォーテーション（ ' ）で囲みます。英数字のほかに、制御コードも 1 文字定数として扱うことができます。図 1.2.1 に示すように内部的にはすべてアスキーコードとして扱われます。

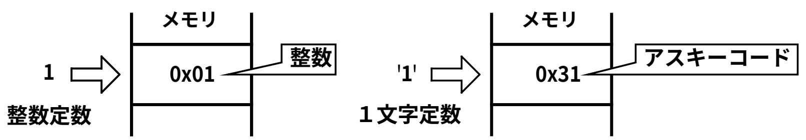


図 1.2.1　1 と '1' の違い

文字列定数

英数字や制御コードの並びをダブルクォーテーション（"）で囲むと文字列定数として扱うことができます。
文字列定数では、データの最後にヌルコード'\0'が自動的に付けられ、文字列の終わりであることを表します。

例："abc" , "012\n" , "Hello!"

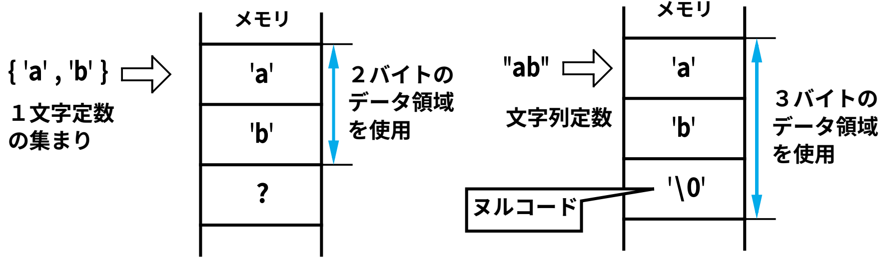


図 1.2.2 { 'a' , 'b' }と "ab" の違い

コラム　制御コード一覧（エスケープシーケンス）

Ｃ言語のプログラムでよく使う制御コード（エスケープシーケンス）を紹介します。

表 1.2.2　Ｃ言語のエスケープシーケンス

表記	内容	表記	内容
\f	改ページ（FF）	\'	シングルクォーテーション
\n	改行復帰（NL）	\"	ダブルクォーテーション
\r	復帰（CR）	\x 定数値	16進数
\t	水平タブ（HT）	\ 定数値	８進数
\\	\記号	\0	ヌルコード

1.2.2　変数

C 言語のプログラムの中で変数を使用する前には、必ず変数の「データ型」を宣言しなければなりません。データ型は、その変数に割り当てるメモリサイズと、扱う数値の範囲から決めます。

この項では、NC30 で扱える変数のデータ型と宣言方法について説明します。

NC30 の基本データ型

NC30 で扱えるデータ型を表 1.2.3 に示します。() 内は省略して記述できます。

表 1.2.3　NC30 の基本データ型

	データ型	ビット長	表現できる数値の範囲
整数	(unsigned) char	8ビット	0 ～ 255
	signed char		−128 ～ 127
	unsigned short (int)	16ビット	0 ～ 65535
	(signed) short (int)		−32768 ～ 32767
	unsigned int	16ビット	0 ～ 65535
	(signed) int		−32768 ～ 32767
	unsigned long (int)	32ビット	0 ～ 4294967295
	(signed) long (int)		−2147483648 ～ 2147483647
実数	float	32ビット	有効桁数　9桁
	double	64ビット	有効桁数　17桁
	long double	64ビット	有効桁数　17桁

変数の宣言

変数の宣言は、「データ型　変数名 ;」という書式で行います。

例：変数 a を char 型として宣言する。

char a ;

「データ型　変数名　＝　初期値 ;」と記述すると、宣言と同時にその変数に対して初期値を設定することができます。

例：char 型の変数 a に初期値として 'A' を設定する。

char a = 'A';

また複数の変数名をカンマ（','）で区切って列記すると、同じデータ型の変数を同時に宣言できます。

例：**int i , j ;**

例：**int i = 1 , j = 2 ;**

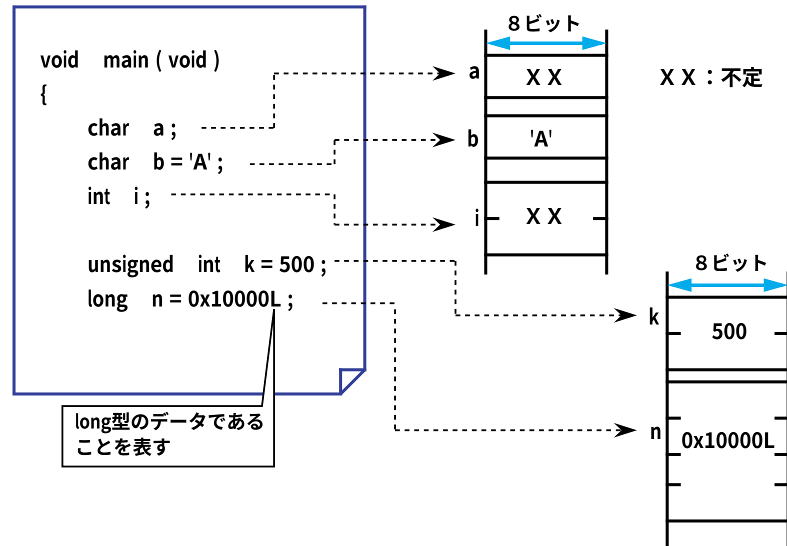


図 1.2.3　変数の宣言

1.2.3　データの特性

変数や定数を宣言するときにデータ型と合わせて、そのデータの特性を記述できます。このときに用いる指定子を「型修飾子」といいます。

この項では、NC30 で扱うデータの特性と指定方法を説明します。

符号付きか、符号なしかを明示する（ signed ／ unsigned 修飾子）

そのデータが符号を持つ場合 " signed " を、符号を持たない場合は " unsigned " を記述します。宣言時にこれらの型修飾子を記述しない場合、NC30 では char 型データのみ符号なし、それ以外のデータはすべて符号付きデータとなります。

```
void    main ( void )
{
        char   a ;              " unsigned  char   a ; " と同義
        signed    char   s_a ;
        int   b ;               " signed  int   b ; " と同義
        unsigned   int   u_b ;
                  :
}
```

図 1.2.4　型修飾子 " signed ／ unsigned " の記述例

定数データであることを明示する（ const 修飾子）

プログラムを実行しても全く値が変化しないデータについては宣言時に " const " を記述します。プログラム中にこの定数データを変化させるような記述があると、NC30 はワーニングを出力します。

```
void    main ( void )
{
        char    a = 10 ;
        const   char   c_a = 20 ;

        a = 5 ;
        c_a = 5 ;        ワーニング発生！
}
```

図 1.2.5　型修飾子 " const " の記述例

コンパイラによる最適化を禁止する（ volatile 修飾子）

NC30はプログラム処理上意味のない命令については最適化を行い、不要な命令コードを生成しません。しかし　データによってはプログラムの処理とは関係なく、割り込みやポートからの入力によって変化するものもあります。このようなデータの宣言時には" volatile "を記述します。この型修飾子を記述したデータについては、NC30 は最適化を行わず、命令コードを出力します。

```
void    main ( void )
{
        char    port1 ;
        volatile    char    port2 ;

        port1 ;
        
        port2 ;
}
```


図 1.2.6　型修飾子 " volatile " の記述例

コラム　宣言の構文

データを宣言するときに型とともに、データの特性をいろいろな指定子や修飾子を使って記述します。図 1.2.7 に宣言の構文を示します。

宣言指定子			宣言子（データ名）
記憶クラス指定子（後述）	型修飾子	型指定子	
static register auto extern	unsigned signed const volatile	int char float struct union	dataname

図 1.2.7　宣言の構文

1.3　演算子

1.3.1　NC30 の演算子

NC30 ではプログラムを記述するために様々な演算子を用意しています。
以下の項では、用途別にこれらの演算子（ただし、アドレス演算子とポインタ演算子は除く(注)）の記述方法と使用する上での注意点を説明します。

NC30 で使用できる演算子

NC30 で使用できる演算子を表 1.3.1 に示します。

表 1.3.1　NC30 の演算子一覧

単項算術演算子	++　－－　－
二項算術演算子	+　－　＊　/　%
シフト演算子	<<　>>
ビット演算子	&　¦　^
関係演算子	>　<　>=　<=　==　!=
論理演算子	&&　¦¦　!
代入演算子	=　+=　－=　＊=　/=　%=　<<=　>>=　&=　¦=　^=
条件演算子	? :
sizeof演算子	sizeof( )
キャスト演算子	(型)
アドレス演算子	&
ポインタ演算子	＊
コンマ演算子	,

（注）　アドレス演算子とポインタ演算子については、「1.7　配列とポインタ」を参照してください。

1.3.2　数値計算のための演算子

数値計算のために使用される主な演算子は、計算を行う「算術演算子」と結果を格納する「代入演算子」です。この項では、算術演算子と代入演算子を説明します。

単項算術演算子

「単項算術演算子」は、１変数に対して１つの答えを返します。

表 1.3.2　単項算術演算子一覧

演算子	記述形式	内容
++	++変数（前置形） 変数++（後置形）	式の値をインクリメントする
－－	－－変数（前置形） 変数－－（後置形）	式の値をディクリメントする
－	－式	式の値の符号を反転した値を返す

インクリメント演算子（++）やディクリメント演算子（－－）を、代入演算子や関係演算子と組み合わせて使用するとき、前置形で記述するか後置形で記述するかにより演算結果が変わることがあります。

＜例＞

前置形；インクリメントまたはディクリメントしてから代入します。

b = ++a ;　――→　a = a + 1 ; b = a ;

後置形；代入してからインクリメントまたはディクリメントします。

b = a++ ;　――→　b = a ; a = a + 1 ;

二項算術演算子

通常の四則演算のほかに、整数÷整数の「剰余（あまり）」を求める演算もできます。

表 1.3.3　二項算術演算子一覧

演算子	記述形式	内容
+	式１ + 式２	式１の値と式２の値を加算した結果を返す
－	式１ － 式２	式１の値から式２の値を減算した結果を返す
＊	式１＊式２	式１の値と式２の値を乗算した結果を返す
/	式１ / 式２	式１の値を式２の値で除算した結果を返す
%	ｺ*L % 式２	式１の値を式２の値で割った剰余を返す

代入演算子

「式１＝式２」で、式２の値を式１へ代入します。また、代入演算子'＝'は前述の算術演算子や後述のビット演算子、シフト演算子とも組み合わせて記述できます（「複合代入演算子」）。このとき、必ず代入演算子'＝'を右側に記述します。

表 1.3.4　代入演算子一覧

演算子	記述形式	内容
=	式１ = 式２	式２の値を式１へ代入する
+=	式１ += 式２	式１の値と式２の値を加算し、式１へ代入する
−=	式１ −= 式２	式１の値から式２の値を減算し、式１へ代入する
∗=	式１ ∗= 式２	式１の値と式２の値を乗算し、式１へ代入する
/=	式１ /= 式２	式１の値を式２の値で除算し、式１へ代入する
%=	式１ %= 式２	式１の値を式２の値で割った剰余を式１へ代入する
<<=	式１ <<= 式２	式１の値を式２の値だけ左シフトし、式１へ代入する
>>=	式１ >>= 式２	式１の値を式２の値だけ右シフトし、式１へ代入する
&=	式１ &= 式２	式１の値と式２の値のビット論理積を式１へ代入する
¦=	式１ ¦= 式２	式１の値と式２の値のビット論理和を式１へ代入する
^=	式１ ^= 式２	式１の値と式２の値のビット排他的論理和を式１へ代入する

コラム　暗黙の型変換

NC30 では、型の違うデータ間で演算を行うとき、以下の規則に従って「暗黙の型変換」を行います。
- ビット長が長いデータの型に合わせたのち、演算します。
- 代入するときは、左辺の型に合わせます。

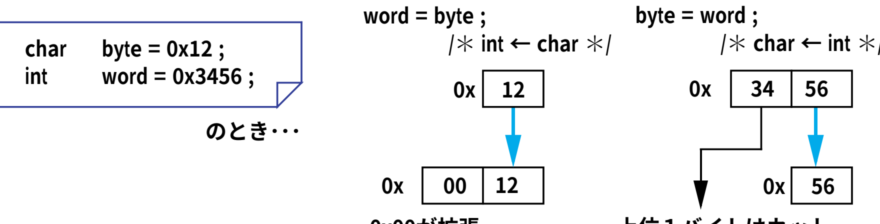


図 1.3.1　型の違うデータを代入する

1.3.3　データ加工のための演算子

データ加工によく使用される演算子は「ビット演算子」と「シフト演算子」です。
この項では、ビット演算子とシフト演算子を説明します。

ビット演算子

ビット演算子を使用すると、データのマスク処理やアクティブ変換を行うことができます。

表 1.3.5　ビット演算子一覧

演算子	記述形式	内容
&	式１ & 式２	式１の値と式２の値のビットごとの論理積を返す
¦	式１ ¦ 式２	式１の値と式２の値のビットごとの論理和を返す
^	式１ ^ 式２	式１の値と式２の値のビットごとの排他的論理和を返す
	式	式の値のビット反転を返す

シフト演算子

シフト動作だけでなく、簡単な乗除算にも利用できます（「コラム　シフト演算子を使った乗除算」参照）。

表 1.3.6　シフト演算子一覧

演算子	記述形式	内容
<<	式１ << 式２	式１の値を式２の値だけ左シフトした値を返す
>>	式１ >> 式２	式１の値を式２の値だけ右シフトした値を返す

算術シフトと論理シフトの比較

右シフトを実行するとき、対象データが符号付きか符号なしかでシフト動作が異なります。
・符号なしのとき→「論理シフト」：最上位ビットに'0'を挿入します。
・符号付きのとき→「算術シフト」：符号を保持するようにシフト動作をします。つまり、
正の数のときは'0'を、負の数のときは'1'を最上位ビットから挿入します。

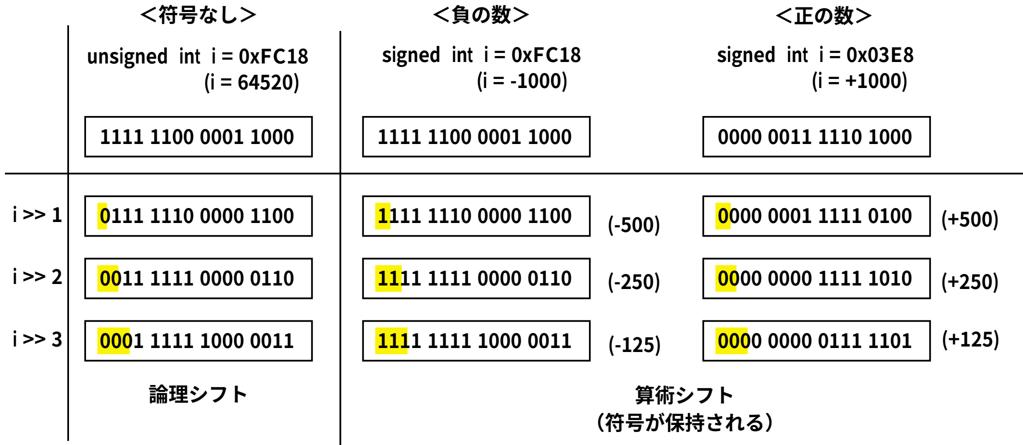


図 1.3.2　算術シフトと論理シフト

コラム　シフト演算子を使った乗除算

シフト演算子を使って簡単な乗除算ができます。通常の乗除算演算子を使用するよりも、演算速度が速くなります。NC30ではこの点を考慮し、"＊2"、"＊4"、"＊8"などに対しては乗算命令ではなくシフト命令を生成します。

・乗算：シフト演算と足し算を組み合わせて行います。

a＊2　→　a<<1
a＊3　→　(a<<1)+a
a＊4　→　a<<2
a＊7　→　(a<<2)+(a<<1)+a
a＊8　→　a<<3
a＊20 →　(a<<4)+(a<<2)

・除算：下位ビットから押し出されたデータを検出することにより、剰余を知ることもできます。

a/4　→　a>>2
a/8　→　a>>3
a/16 →　a>>4

1.3.4　条件を調べるための演算子

制御文の中で条件を調べるために使用するのが「関係演算子」と「論理演算子」です。どちらの演算子も、条件が成立しているときは'1'、条件が成立していないときには'0'を返します。

この項では、関係演算子と論理演算子を説明します。

関係演算子

２つの式の間の大小関係を調べます。そして結果が真ならば'1'を、偽ならば'0'を返します。

表 1.3.7　関係演算子一覧

演算子	記述形式	内容
<	式１ < 式２	式１の値が式２の値より小さければ真、それ以外は偽
<=	式１ <= 式２	式１の値が式２の値より小さいか等しければ真、それ以外は偽
>	式１ > 式２	式１の値が式２の値より大きければ真、それ以外は偽
>=	式１ >= 式２	式１の値が式２の値より大きいか等しければ真、それ以外は偽
==	式１ == 式２	式１の値が式２の値と等しければ真、それ以外は偽
!=	式１ != 式２	式１の値が式２の値と等しくなければ真、それ以外は偽

論理演算子

関係演算子とともに用いる演算子で、複数の条件式の組み合わせ条件を調べます。

表 1.3.8　論理演算子一覧

演算子	記述形式	内容
&&	式１ && 式２	式１と式２の両方が真ならば真、それ以外は偽
¦¦	式１ ¦¦ 式２	式１と式２の両方が偽ならば偽、それ以外は真
!	! 式	式が真ならば偽、偽ならば真

1.3.5　その他の演算子

この項では、C 言語ならではのちょっと変わった性質を持つ４種類の演算子を説明します。

条件演算子

条件式が真ならば式１を、偽ならば式２を実行する演算子です。条件式、式１、式２ともに処理の記述が短いときに使用すると、条件分岐のコーディングを簡単にできます。条件演算子を表 1.3.9 に、利用例を図 1.3.3 に示します。

表 1.3.9　条件演算子

演算子	記述形式	内容
？ ：	条件式 ? 式１: 式２	条件式が真ならば式１を、偽ならば式２を実行する

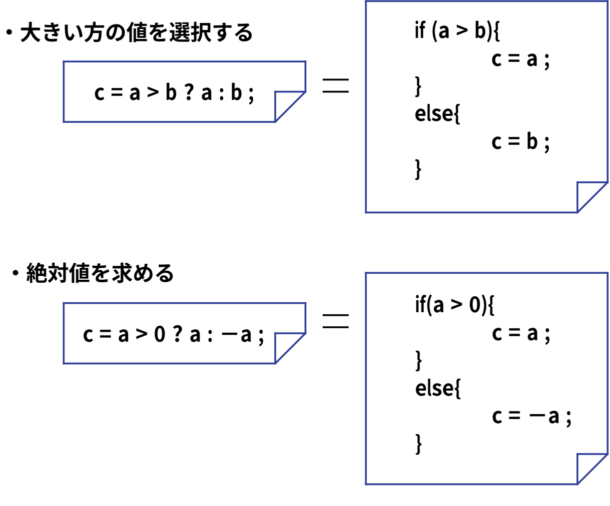


図 1.3.3　条件演算子の利用例

sizeof 演算子

あるデータ型または式が使用しているメモリのバイト数を知りたいときに使用します。

演算子	記述形式	内容
sizeof()	sizeof 式 sizeof(データ型)	式またはデータ型のメモリ使用量をバイト単位で返す

表 1.3.10　sizeof 演算子

キャスト演算子

異なる型どうしで演算を行うと､演算で使用するデータは暗黙のうちに式中のいちばん大きなデータ型へと変換されます。しかし、これが思わぬ不具合の原因となる可能性があるので､「キャスト演算子」を利用して型変換を明示します。

表 1.3.11　キャスト演算子

演算子	記述形式	内容
( )	(新データ型)変数	変数のデータ型を新データ型に変換する

コンマ演算子

式１から式２へと、左から順に実行していきます。短い記述の処理を羅列するときに使用します。

表 1.3.12　コンマ演算子

演算子	記述形式	内容
,	式１，式２	式１、式２と左から順に実行する

1.3.6　演算子の優先順位

数学の演算子と同じようにC言語で使用する演算子にも「優先順位」と「結合規則」があります。
この項では、演算子の優先順位と結合規則について説明します。

優先順位と結合規則

１つの式の中に複数の演算子が含まれているとき、まず「優先順位」の高いものから演算していきます。
「結合規則」は同じ優先順位の演算子が複数存在するとき、左右どちらから計算するのかを示しています。

表 1.3.13　演算子の優先順位

優先順位	演算子の種類	演算子	結合規則
高	式	( )　[ ]　.(注1)　->	→
↑	単項算術演算子etc	!　++　--　-　＊(注2)　&(注3)　sizeof( )　(型)	←
	乗除算演算子	＊(注4)　/　%	→
	加減算演算子	+　-	→
	ｼﾌﾄ演算子	<<　>>	→
	関係演算子（比較）	<　<=　>　>=	→
	関係演算子（等価）	==　!=	→
	ﾋﾞｯﾄ演算子（AND）	&	→
	ﾋﾞｯﾄ演算子（EOR）	^	→
	ﾋﾞｯﾄ演算子（OR）	¦	→
	論理演算子（AND）	&&	→
	論理演算子（OR）	¦¦	→
	条件演算子	?:	←
↓	代入演算子	=　+=　-=　＊=　/=　%=　<<=　>>=　&=　^=　¦=	←
低	ｺﾝﾏ演算子	,	→

（注１） '.' は構造体と共用体のメンバを指定するメンバ演算子です。
（注２） '＊'はポインタ変数を表すポインタ演算子です。
（注３） '&' は変数のアドレスを表すアドレス演算子です。
（注４） '＊'は乗算を表す算術演算子です。

1.4　制御文

1.4.1　プログラムの構造化

C 言語では構造化プログラミングの基本処理「順次処理」、「分岐処理」、「繰り返し処理」をすべて制御文を使用して記述できます。したがって、C 言語で記述されたプログラムはすべて構造化されており、これが処理の流れが読みやすい理由です。

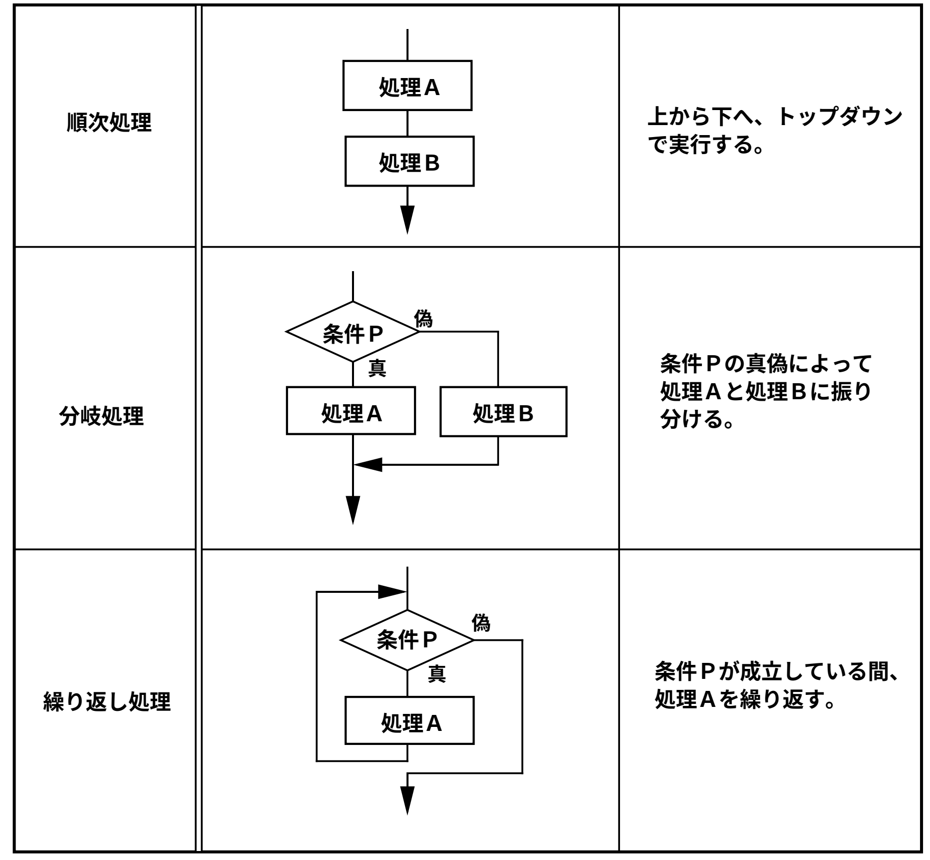
以下の項では、これらの制御文の記述方法と使用例を説明します。

プログラムの構造化

プログラムをわかりやすくするための最大のポイントは「いかにプログラムの流れを読みやすくするか」ということです。そこでプログラムの流れを好き勝手にするのではなく、「順次処理」、「分岐処理」、「繰り返し処理」の３つに限定しようという動きが盛んになりました。これが「構造化プログラミング」と呼ばれる手法です。

表 1.4.1 に、構造化プログラミングの３つの基本形を示します。

表 1.4.1　構造化プログラミングの３つの基本形



順次処理	処理Ａ → 処理Ｂ	上から下へ、トップダウンで実行する。
分岐処理	条件Ｐ（真：処理Ａ／偽：処理Ｂ）	条件Ｐの真偽によって処理Ａと処理Ｂに振り分ける。
繰り返し処理	条件Ｐ（真：処理Ａ／偽）	条件Ｐが成立している間、処理Ａを繰り返す。

1.4.2　条件による処理の分岐（分岐処理）

分岐処理を記述するための制御文は、「if − else 文」、「else − if 文」、「switch − case 文」です。
この項では、これらの制御文の記述方法と使用例を説明します。

if − else 文

ある条件が真の場合はすぐ次のブロックを、偽であれば「else」のブロックを実行します。　" else " のブロックは省略できます。

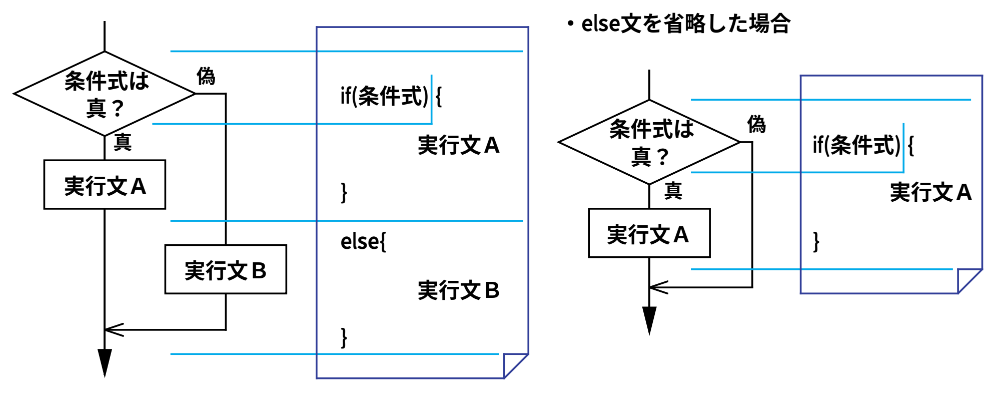
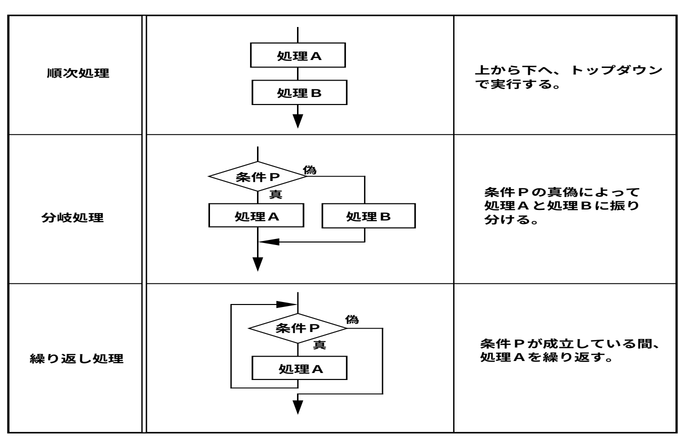


図 1.4.1　if − else 文の記述例

例 1.4.1　カウントアップ（ if − else 文の記述例）

秒のカウンタ " second " と分のカウンタ " minute " をカウントアップします。このモジュールを 1 秒間隔で呼び出すと、時計の役割をはたします。



例 1.4.1　カウントアップ（ if − else 文の記述例）

else − if 文

複数の条件により３個以上の処理に分けたいときに使用します。各条件が真のときに実行したい処理をすぐ次のブロックに記述します。すべての条件に当てはまらなかったときの処理を最後の " else " のブロックに記述します。

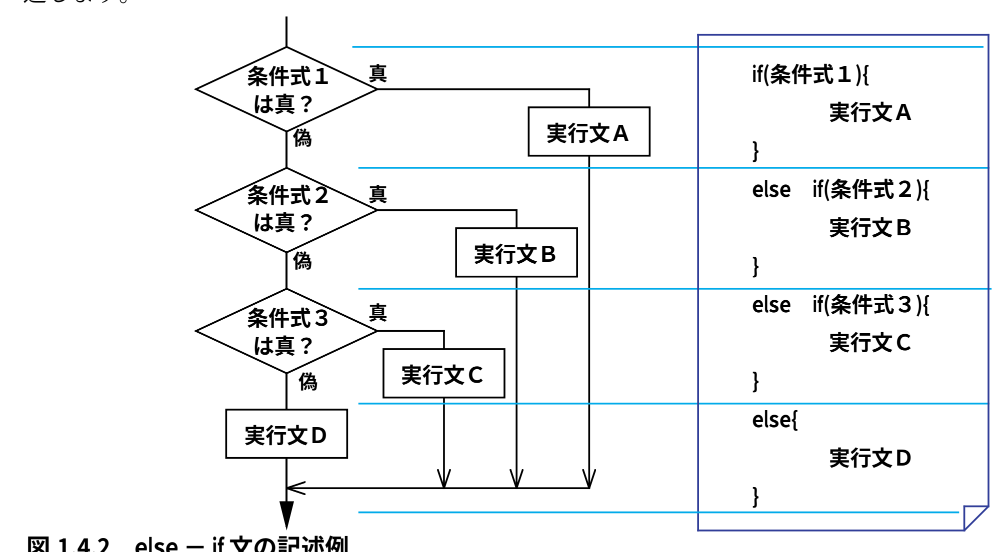
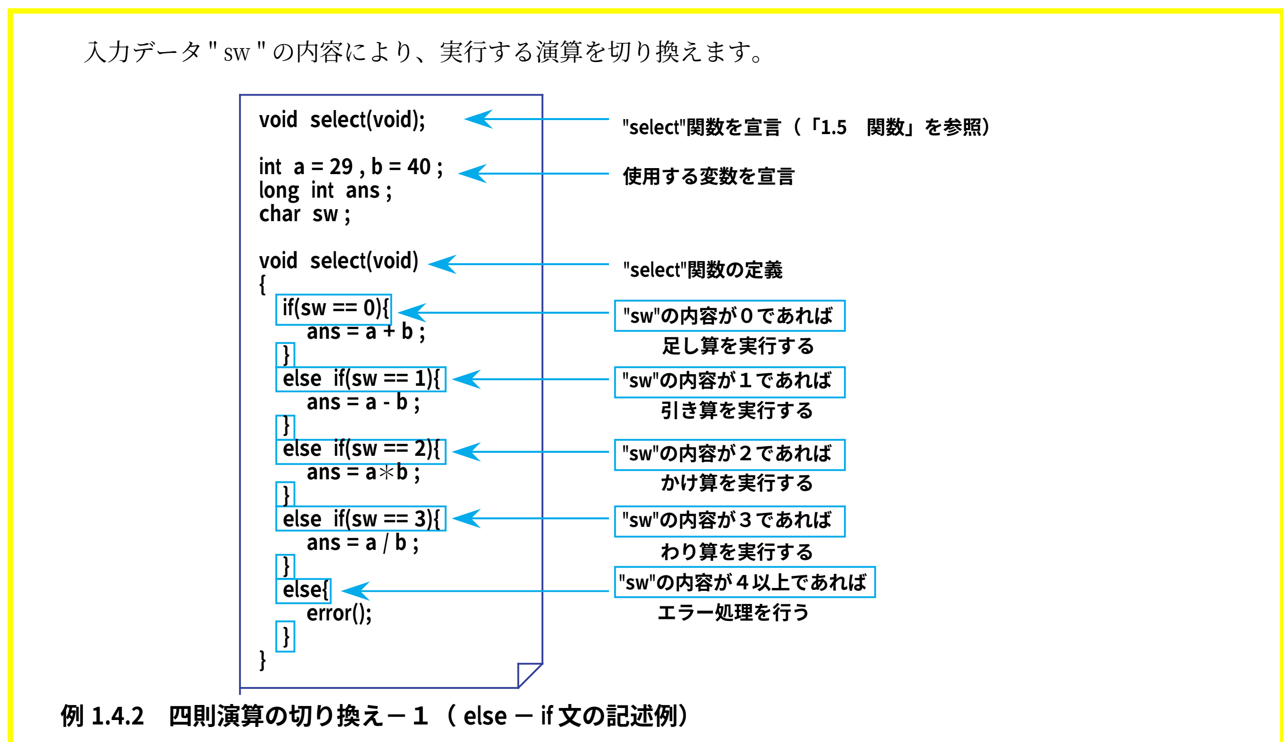


図 1.4.2　else − if 文の記述例

例 1.4.2　四則演算の切り換え－１－（ else − if 文の記述例）

入力データ " sw " の内容により、実行する演算を切り換えます。



例 1.4.2　四則演算の切り換え－１（ else − if 文の記述例）

switch － case 文

ある式の結果により複数の処理に分岐します。式の結果は定数として判定しますので、関係演算子などは使えません。

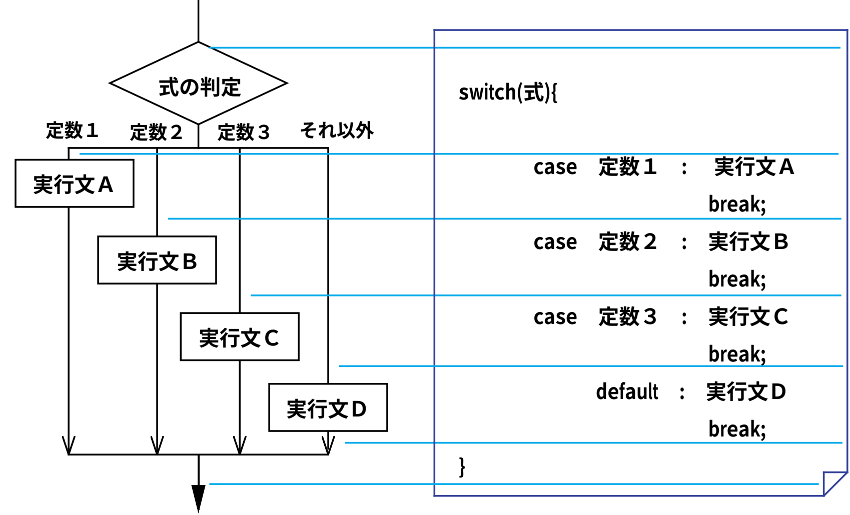
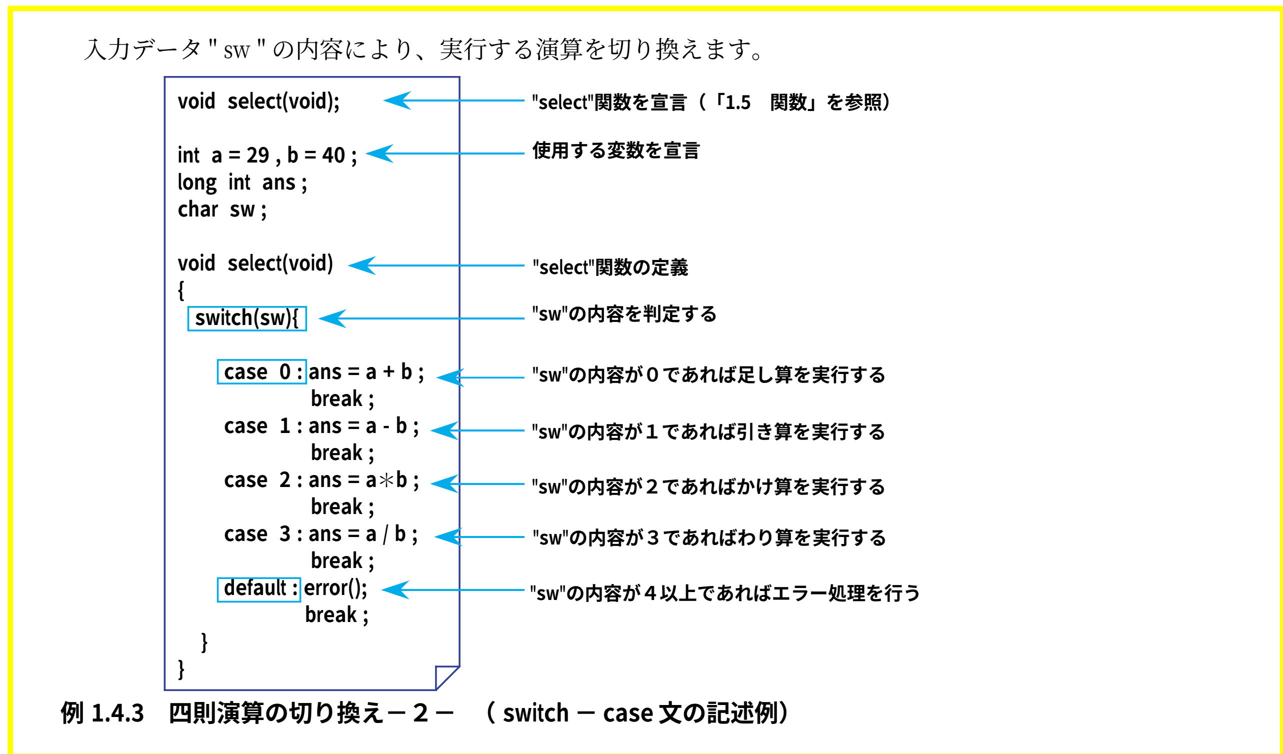


図 1.4.3 switch － case 文の記述例

例 1.4.3 四則演算の切り換え－２－ （ switch － case 文の記述例）

入力データ " sw " の内容により、実行する演算を切り換えます。



```
void select(void);

int a = 29 , b = 40 ;
long int ans ;
char sw ;

void select(void)
{
  switch(sw){

    case 0 : ans = a + b ;
             break ;
    case 1 : ans = a - b ;
             break ;
    case 2 : ans = a∗b ;
             break ;
    case 3 : ans = a / b ;
             break ;
    default : error();
             break ;
  }
}
```


例 1.4.3 四則演算の切り換え－２－ （ switch － case 文の記述例）

コラム　break を入れない switch − case 文

switch − case 文の各実行文の終わりには通常 break 文を記述します。

break文を記述していないブロックがあれば、そのブロックを終了すると次のブロックへと上から順にブロックを実行していきます。つまり、式の値により処理のスタート位置を変えることができます。

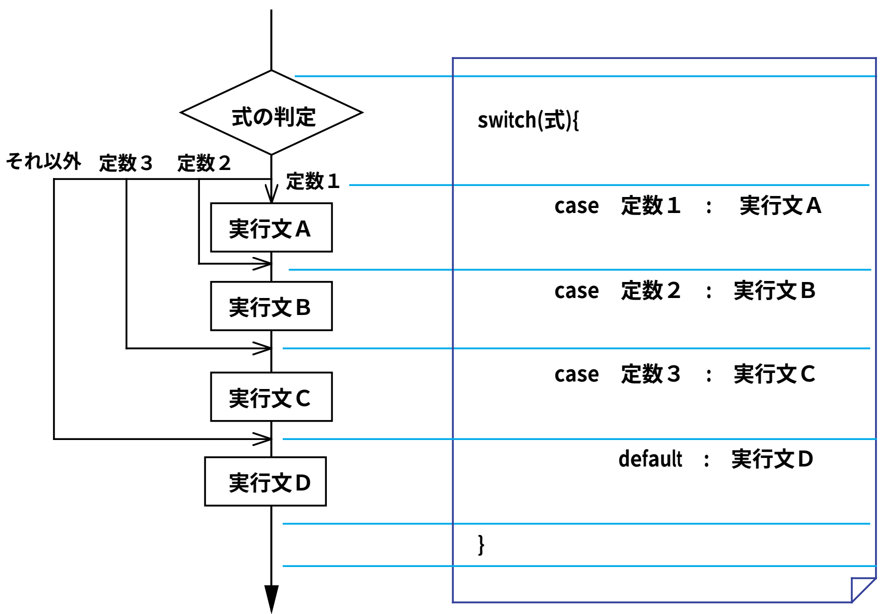


図 1.4.4　break を入れない switch − case 文

1.4.3　同じ処理の繰り返し（繰り返し処理）

繰り返し処理を記述するための制御文は「while 文」、「for 文」、「do － while 文」です。
この項では、これらの制御文の記述方法と使用例を説明します。

while 文

条件式が成立している間、ブロック内の処理を繰り返し実行します。条件式に 0 以外の定数を記述しておくと、条件式が常に「真」となり、無限ループを実現できます。

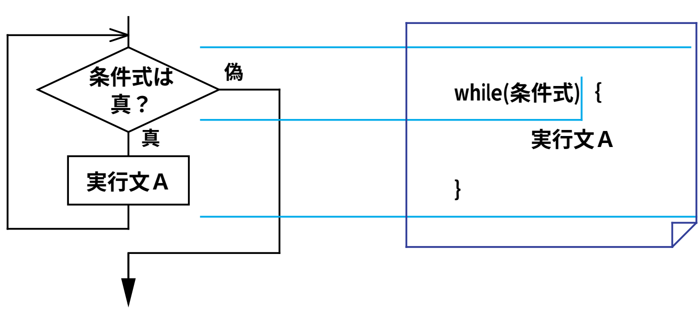
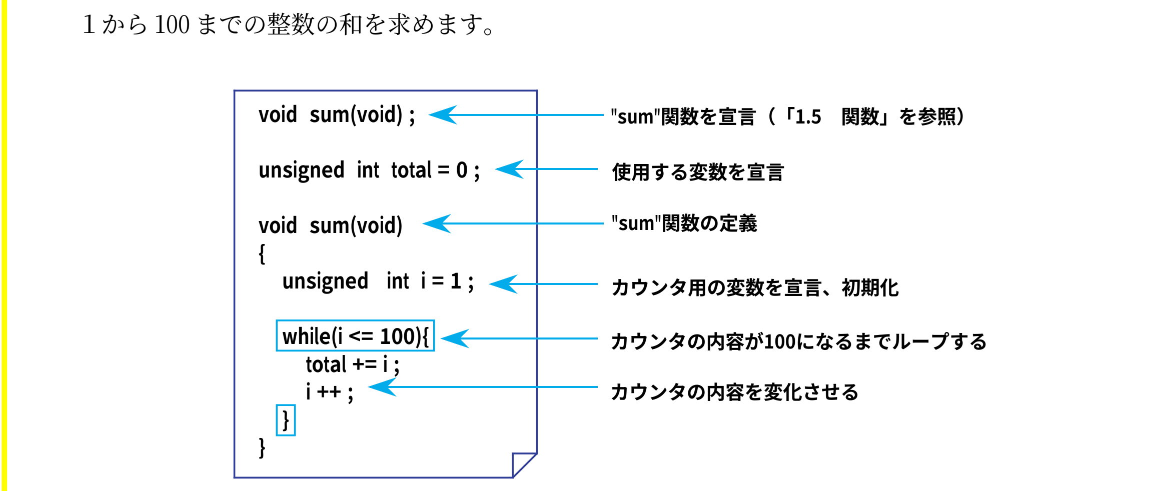


図 1.4.5　while 文の記述例

例 1.4.4　総和を求める－ 1 －（ while 文の記述例）

1 から 100 までの整数の和を求めます。



例 1.4.4　総和を求める－ 1 －（ while 文の記述例）

for 文

例題 1.4.4 のようにカウンタを使って繰り返し処理を行うとき、条件の判定とともに必ず「カウンタの内容の初期化」と「カウンタの内容の変化」という作業が必要です。for 文ではこれらの作業が条件式とともに記述できます（図 1.4.6)。初期化（式１)、条件式（式２)、処理（式３）はそれぞれ省略可能です。しかし、いずれの式を省略した場合でも間のセミコロン';'は必ず記述してください。また、for 文と前述の while 文は常に書き換えできます。

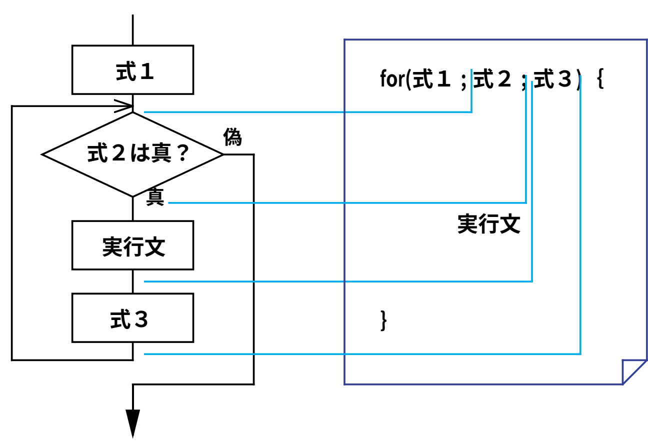
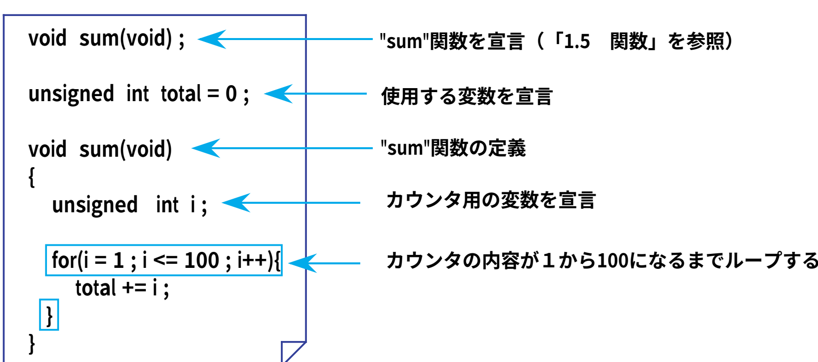


図 1.4.6　for 文の記述例

例 1.4.5　総和を求める－２－（ for 文の記述例）

１から 100 までの整数の和を求めます。



例 1.4.5　総和を求める－２－（ for 文の記述例）

do − while 文

for 文や while 文とは異なり、処理を実行したのち条件判定を行います（「後判定」）。for 文や while 文では、条件によって 1 度も処理が実行されない場合がありますが、do − while 文では必ず 1 度は処理が行われます。

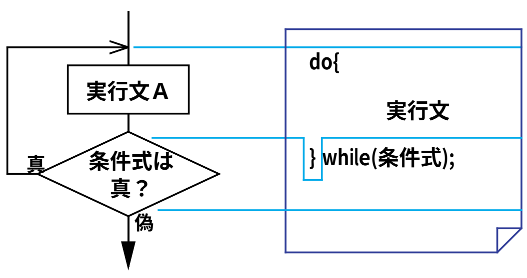


図 1.4.7　do − while 文の記述例

例 1.4.6　総和を求める − 3 − （ do − while 文の記述例）

1 から 100 までの整数の和を求めます。

```
void  sum(void) ;            ← "sum"関数を宣言（「1.5　関数」を参照）

unsigned  int  total = 0 ;   ← 使用する変数を宣言

void  sum(void)              ← "sum"関数の定義
{
    unsigned   int  i = 0 ;  ← カウンタ用の変数を宣言、初期化

    do{
        i ++ ;
        total += i ;
    }while(i < 100) ;        ← カウンタの内容が 1 から100になるまでループする
}
```

例 1.4.6　総和を求める − 3 − （ do − while 文の記述例）

1.4.4 処理の中断

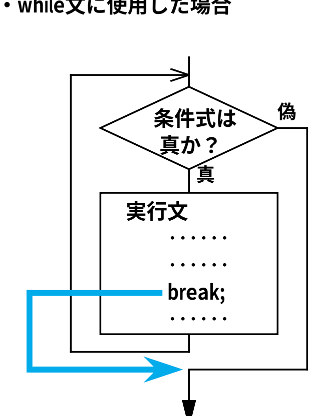
処理を中断して脱出するための制御文（「補助制御文」）には、「break 文」、「continue 文」、「goto 文」があります。

この項では、これらの制御文の記述方法と動作を説明します。

break 文

繰り返し処理や switch ─ case 文の中で使用します。" break ; " が実行されると、処理を中断して１ブロックだけ脱出します。

・while文に使用した場合



・for文に使用した場合

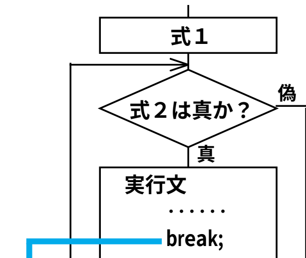
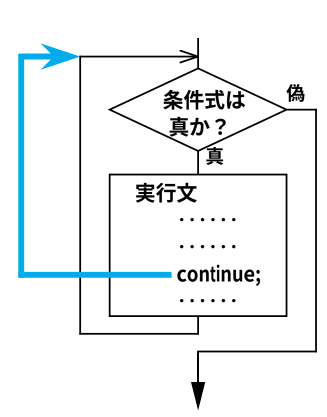


図 1.4.8 break 文の記述例

continue 文

繰り返し処理の中で使用します。" continue ; " が実行されると、処理を中断します。中断後 while 文では条件判定に戻り、for 文では式３を実行した後、条件判定に戻ります。

・while文に使用した場合



・for文に使用した場合

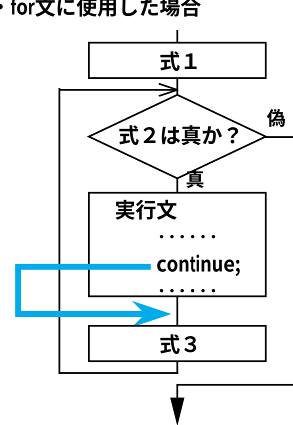


図 1.4.9 continue 文の記述例

goto 文

goto 文が実行されると、goto 文の後ろに記述されているラベルへ無条件に分岐します。break 文や continue 文とは違い、多重ブロックを一気に脱出して関数内のどの場所にでも分岐することができます（図 1.4.10）。しかし、構造化プログラミングに反するため、エラー処理など緊急を要する場合にのみ、使用するほうがよいでしょう。

また、分岐先のラベルの後ろには必ず実行文を記述しなければなりません。なにもしたくない場合は空文（';' のみ）を記述します。

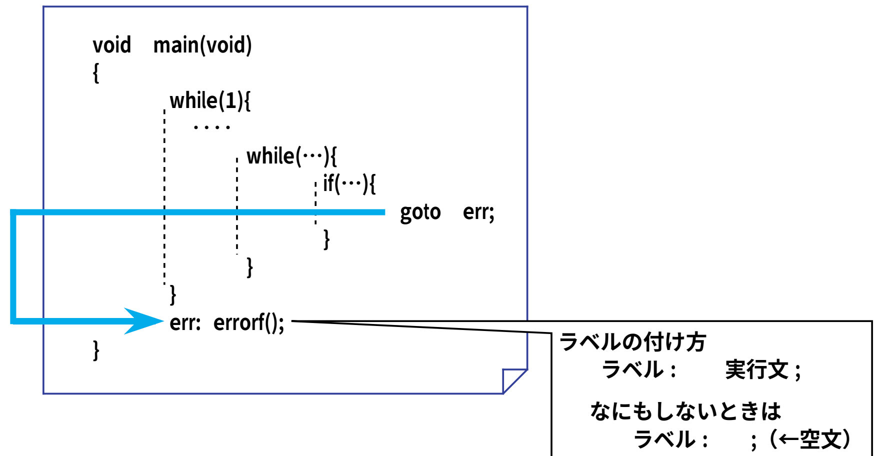


図 1.4.10 goto 文の働き

1.5 関数

1.5.1 関数とサブルーチン

アセンブリ言語のプログラムがサブルーチンを基本単位としているのと同じように、C 言語では「関数」がプログラムの基本単位となります。

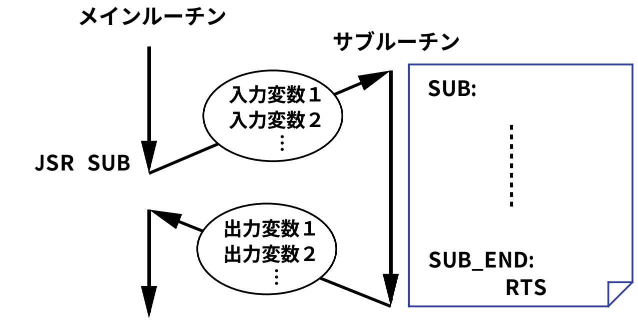
以下の項では、NC30 での関数の記述方法について説明します。

引数と戻り値

関数間のデータのやりとりは、サブルーチンの入力変数にあたる「引数」と出力変数にあたる「戻り値」で行います。

アセンブリ言語の場合は入力変数や出力変数の数に制約はありません。しかし、C 言語では戻り値については各関数につき１個と決められており、「return 文」を使って返します。引数については制約はありません。(注)

・アセンブリ言語の「サブルーチン」



・C 言語の「関数」

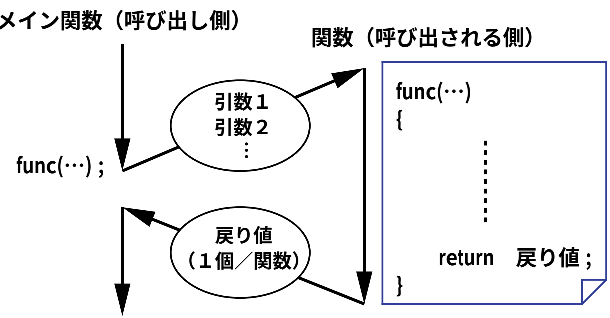


図 1.5.1 「サブルーチン」と「関数」

(注) ROM 化を目的とするコンパイラには、引数の数を制限しているものもあります。

1.5.2　関数の作成

関数を使用するためには「関数の型宣言（プロトタイプ宣言）」、「関数の定義」、「関数の呼び出し」の３つの手続きが必要です。

この項では、これらの手続きの方法を説明します。

関数の型宣言（プロトタイプ宣言）

C 言語で関数を使用する前には、必ず関数の型宣言（プロトタイプ宣言）を行わなければなりません。関数の型とは、関数の引数と戻り値のデータ型です。

次に関数の型宣言（プロトタイプ宣言）の書式を示します。

```
戻り値のデータ型　　関数名（引数のデータ型のならび）；
```

戻り値や引数がないときは、空（から）を意味する " void " という型を記述します。

関数の定義

関数本体では、引数を受け取るための「仮引数」のデータ型と名称を定義します。また戻り値は「return 文」を使って返します。

次に関数定義の書式を示します。

```
戻り値のデータ型　　関数名（仮引数１のデータ型　仮引数１，‥‥）
{
            ：
      return　戻り値；
}
```

関数の呼び出し

関数を呼び出すとき、その関数に対する引数を記述します。また呼び出した関数からの戻り値は代入演算子を用いて受け取ります。

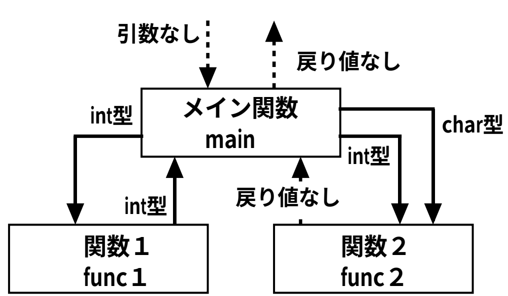
```
関数名（引数１，‥‥）；
```

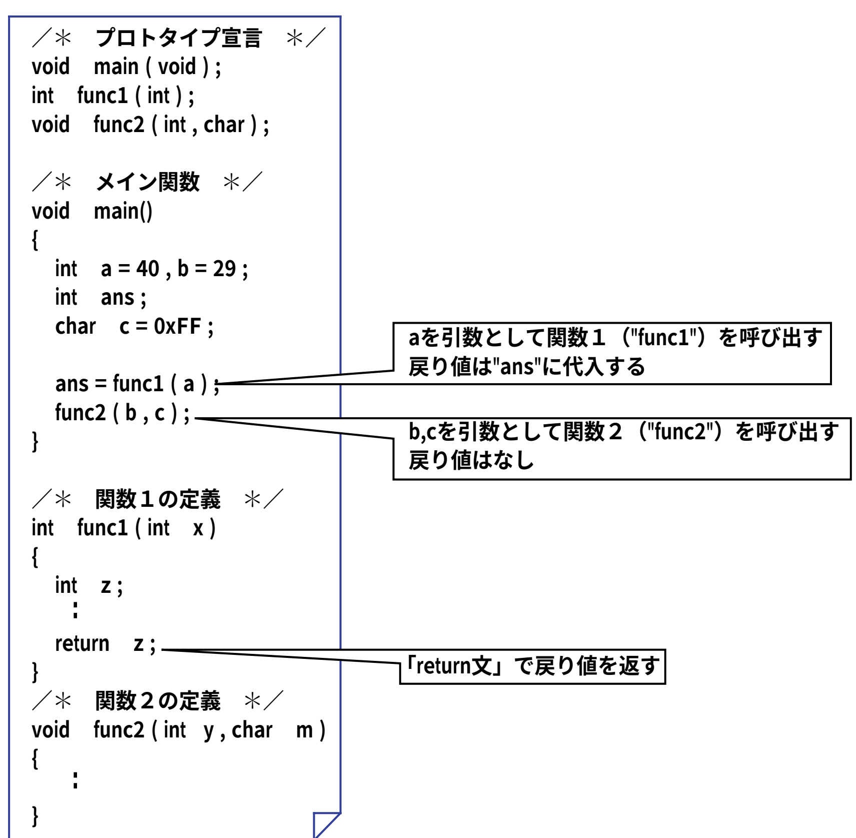
戻り値があるとき

```
変数＝関数名（引数１，‥‥）；
```

関数の記述例

次のような関係のある３つの関数を記述します。





```
／＊　プロトタイプ宣言　＊／
void   main ( void ) ;
int   func1 ( int ) ;
void   func2 ( int , char ) ;

／＊　メイン関数　＊／
void   main()
{
   int   a = 40 , b = 29 ;
   int   ans ;
   char   c = 0xFF ;

   ans = func1 ( a ) ;
   func2 ( b , c ) ;
}

／＊　関数１の定義　＊／
int   func1 ( int   x )
{
   int   z ;
     :
   return   z ;
}
／＊　関数２の定義　＊／
void   func2 ( int   y , char   m )
{
     :
}
```


図 1.5.2　関数の記述例

1.5.3 関数間でのデータの受け渡し

C 言語では引数と戻り値の受け渡しは、各変数の値をコピーして渡します（「Call by Value」）。したがって、関数を呼び出すときの引数の名前と、呼び出された関数が受け取る引数（仮引数）の名前を一致させる必要はありません。

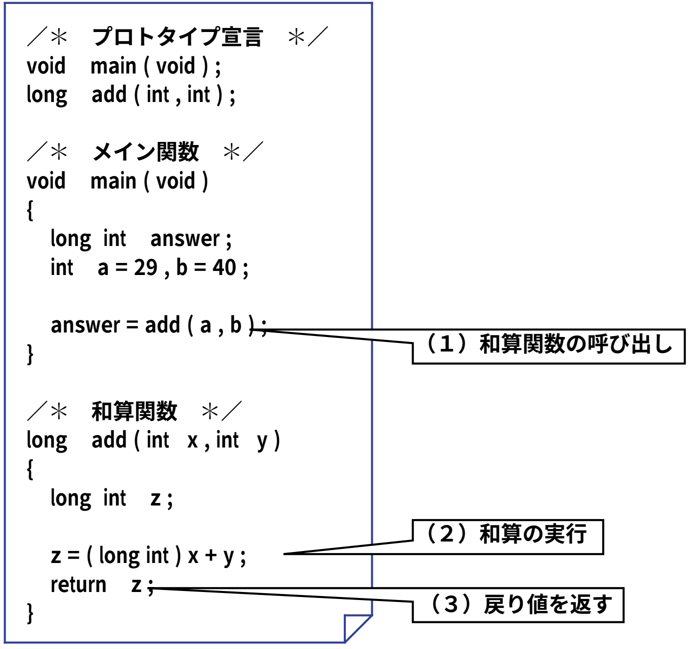
呼び出された関数内での処理はコピーした仮引数を使って行われるので、呼び出し側の引数本体が破壊されることはありません。

これらの理由により、C 言語の関数は独立性が高く、関数の再利用も容易です。

この項では、関数間でのデータの受け渡しについて説明します。

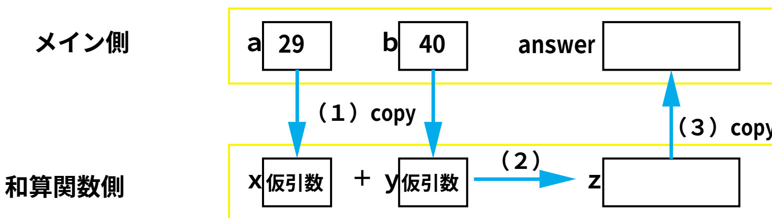
例 1.5.1 和を求める（関数の記述例）

－ 32768 ～ 32767 の範囲にある任意の 2 つの整数を引数として、その和を求める和算関数 "add" を作成し、メイン関数から呼び出します。



```
/* プロトタイプ宣言 */
void  main ( void ) ;
long  add ( int , int ) ;

/* メイン関数 */
void  main ( void )
{
    long int   answer ;
    int   a = 29 , b = 40 ;

    answer = add ( a , b ) ;
}

/* 和算関数 */
long  add ( int  x , int  y )
{
    long int  z ;

    z = ( long int ) x + y ;
    return  z ;
}
```


<データの流れ>



例 1.5.1 和を求める（関数の記述例）

1.6　記憶クラス

1.6.1　変数と関数の有効範囲

変数や関数はプログラム全体で使用するもの、1関数でのみ使用するものなど、各々の性質によりその有効範囲が異なります。このような変数や関数の有効範囲のことを「記憶クラス（Scope)」といいます。
以下の項では、変数と関数の記憶クラスの種類とその指定方法について説明します。

変数と関数の有効範囲

Ｃ言語のプログラムは複数のソースファイルから構成されています。さらに、１つのソースファイルは複数の関数によって構成されています。つまり、Ｃ言語のプログラムは、図 1.6.1に示すような階層構造になっています。

変数には、次の３段階の記憶クラスがあります。
（１）関数内でのみ有効
（２）ファイル内でのみ有効
（３）プログラム全体で有効
関数には、次の２段階の記憶クラスがあります。
（１）ファイル内でのみ有効
（２）プログラム全体で有効

Ｃ言語ではこれらの記憶クラスを変数、関数ごとに指定することができます。そして、この記憶クラスを効率よく利用することによって、自作の変数や関数にプロテクトをかけたり、逆にチーム内で共有したりすることができます。

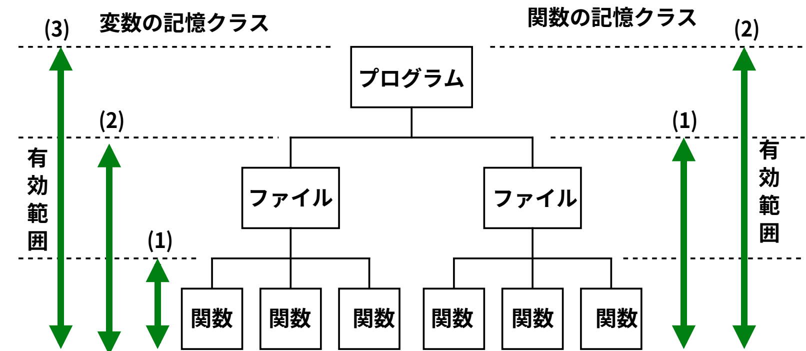


図 1.6.1　Ｃ言語プログラムの階層構造と記憶クラス

1.6.2　変数の記憶クラス

変数の記憶クラスは、型宣言を行うときに指定します。ポイントは次の２点です。

（１）外部変数と内部変数（→型宣言を行う場所）

（２）記憶クラス指定子（→型宣言に指定子を付加）

この項では、変数に対する記憶クラスの指定方法を説明します。

外部変数と内部変数

変数の有効範囲を指定するいちばん簡単な方法で、変数の型宣言を行う位置によって有効範囲が決まります。関数の外側で宣言した変数を「外部変数」、関数の内側で宣言した変数を「内部変数」といいます。「外部変数」は宣言以降どの関数からも参照できるグローバルな変数です。一方、「内部変数」は宣言以降その関数内でのみ有効なローカル変数となります。

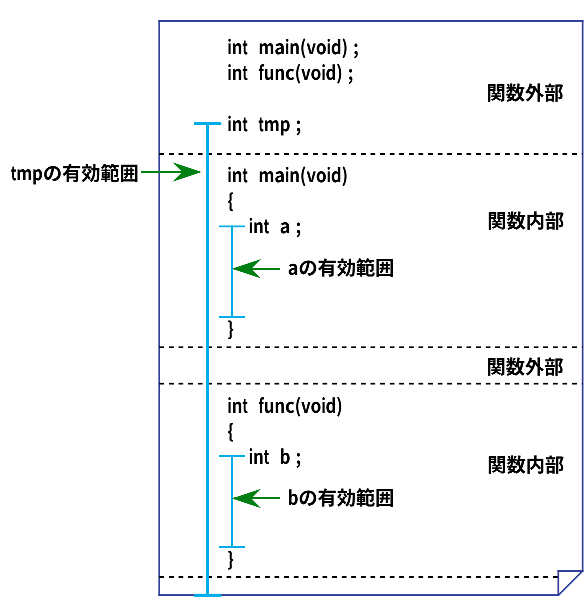


図 1.6.2　外部変数と内部変数

記憶クラス指定子

変数に対して使用する記憶クラス指定子は「auto」、「static」、「register」、「extern」があります。これらの記憶クラス指定子は外部変数に対して使用したときと、内部変数に対して使用したときでは働きが異なります。書式を次に示します。

記憶クラス指定子　　データ型　　変数名；

外部変数の記憶クラス

外部変数を宣言するときに、記憶クラス指定子をなにも付けなければプログラム全体で有効なグローバル変数となります。一方、宣言時に " static " を記述すると、宣言したファイル内のみ有効な変数となります。

図 1.6.3 のソースファイル 2 の " mode " のような、別ファイルで宣言した外部変数を使用する場合は " extern " を記述します。

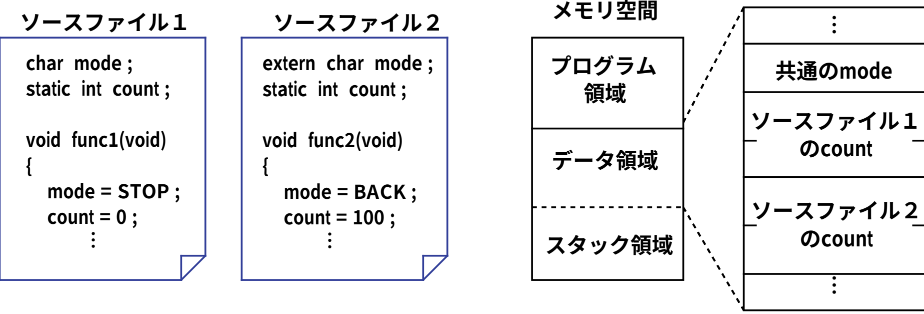


図 1.6.3　外部変数の記憶クラス

内部変数の記憶クラス

記憶クラス指定子を付けずに宣言した内部変数はスタック上に領域がとられるため、その関数が呼び出される度に初期化されます。一方、" static " をつけた内部変数はデータ領域へとられ、初期化されるのはプログラム起動時だけです。

ソースファイル

```
void func1(void)
{
    char flag = 0 ;
    static int count = 0 ;
          :
    flag = SET ;
    count = count + 1 ;
    func2() ;
          :
}
void func2(void)
{
    char flag = 0 ;
    static int count = 0 ;
          :
    flag = SET ;
    count = count + 1 ;
          :
}
          :
```

メモリ空間

プログラム領域

データ領域

スタック領域

func1のcount

func2のcount

func2のflag

戻り先番地

func1のflag

図 1.6.4　内部変数の記憶クラス

1.6.3　関数の記憶クラス

関数の記憶クラスは、関数の定義側と呼び出し側の両方で指定します。使用する記憶クラス指定子は、「static」と「extern」です。

この項では、関数に対する記憶クラスの指定方法を説明します。

グローバルな関数とローカルな関数

（1）関数の定義で記憶クラスを指定しないとき

この関数は他のソースファイルからも呼び出して使用できるグローバルな関数となります。

（2）関数の定義で「static」と宣言したとき

この関数は他のソースファイルからは呼び出せないローカルな関数になります。

（3）関数の型宣言で「extern」と宣言したとき

この関数は関数が記述されるソースファイルになく、他のソースファイルの関数を呼び出すことを明示しています。ただし、" extern " を付けなくても型宣言してあれば、関数がソースファイル内にないときは、自動的に " extern " をつけたのと同じ扱いになります。

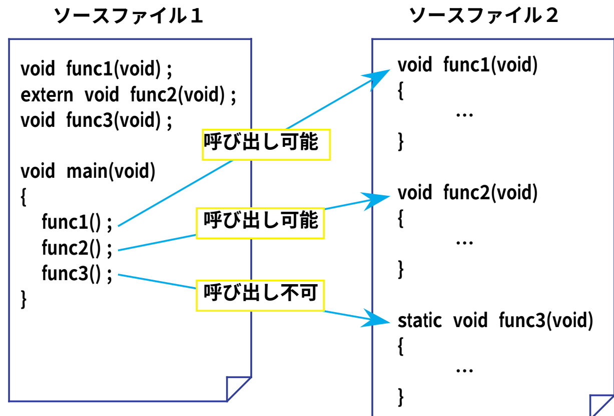


図 1.6.5　関数の記憶クラス

記憶クラスのまとめ

変数の記憶クラスを表 1.6.1 に、関数の記憶クラスを表 1.6.2 にまとめます。

表 1.6.1　変数の記憶クラス

記憶クラス	外部変数	内部変数
記憶クラス指定子省略	他のソースファイルからも参照できるグローバルな変数 ［データ領域上に割り付ける］	関数内でのみ有効な変数 ［実行時にスタック上に割り付ける］
auto		関数内でのみ有効な変数 ［実行時にスタック上に割り付ける］
static	他のソースファイルからは参照できないローカルな変数 ［データ領域上に割り付ける］	関数内でのみ有効な変数 ［データ領域上に割り付ける］
register		関数内でのみ有効な変数 ［実行時にレジスタ上に割り付ける］ ただし、NC30では意味をもたない （コンパイル時に無視される）
extern	他のソースファイルの変数を参照する変数 ［割り付けない］	他のソースファイルの変数を参照する変数　（他の関数からの参照はできない） ［割り付けない］

表 1.6.2　関数の記憶クラス

記憶クラス	関数の種類
記憶クラス指定子省略	他のソースファイルからも呼び出し実行できるグローバルな関数 ［定義側で指定する］
static	他のソースファイルからは参照できないローカルな関数 ［定義側で指定する］
extern	他のソースファイルにある関数を呼び出す ［呼び出し側で指定する］

1.7 配列とポインタ

1.7.1 配列

「配列」と「ポインタ」はC言語の特徴ある機能です。
以下の項では、この配列の使用方法と、配列を扱う上で重要な手段となるポインタについて説明します。

配列とは何か

家族の年齢の合計を求めるプログラムを例とします。家族の構成は両親（父＝29歳、母＝24歳）と子ども1人（僕＝4歳）です（例1.7.1参照)。

このプログラムでは、家族が増えると変数名が増えます。これに対処する手段として、C言語では「配列」という概念があります。配列とは、同じ型をもつデータ（int型）を１つの集合体として扱います。この例では父の年齢（papa)、母の年齢（mama)････と別の変数として扱うのではなく、家族の年齢（age）という集合体とします。各データは集合体の「要素」となります。つまり、０番目の要素が父、１番目の要素が母、２番目が僕です。

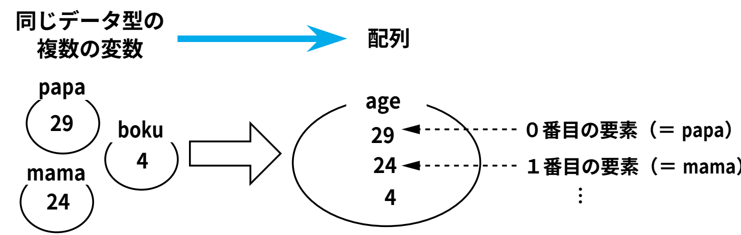


図 1.7.1　配列の概念

例 1.7.1　家族の年齢の合計を求める－１－

家族（父、母、僕）の年齢の合計を求めます。

```
void  main(void)
{
    int  papa = 29 ;
    int  mama = 24 ;
    int  boku = 4 ;
    int  gokei ;

    gokei = papa + mama + boku ;
}
```

家族が増えると変数の型宣言、初期化の実行文が増え、
演算式も長くなる。

```
void  main(void)
{
    int  papa = 29 ;
    int  mama = 24 ;
    int  boku = 4 ;
    int  imouto1 = 1 ;
    int  imouto2 = 1 ;
          ⋮
    int  gokei ;

    gokei = papa + mama + boku  + imouto1 + imouto2 + …;
}
```

例 1.7.1　家族の年齢の合計を求める－１－

1.7.2　配列の作成

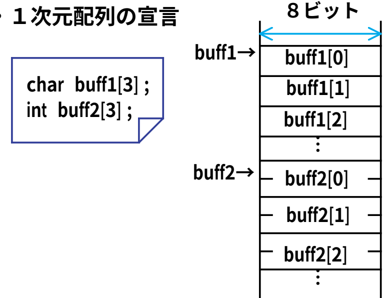
C 言語で扱う配列には、「1次元配列」と「2次元配列」の2種類があります。
この項では、各々の配列の作成と参照方法を説明します。

1次元配列

1次元配列は、1次元の（直線的な）広がりをもつ配列です。1次元配列の宣言の書式を示します。

データ型　配列名［要素数］；

上の宣言を行うと、配列名を先頭ラベルとして要素数分だけメモリ上に領域が確保されます。
1次元配列を参照するためには、配列名に要素番号を添字として付けます。ただし、要素番号は'0'から始まるので、最後の要素番号は「要素数－1」になります。



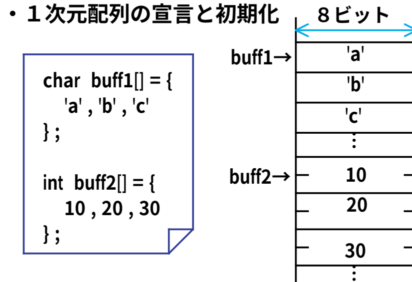
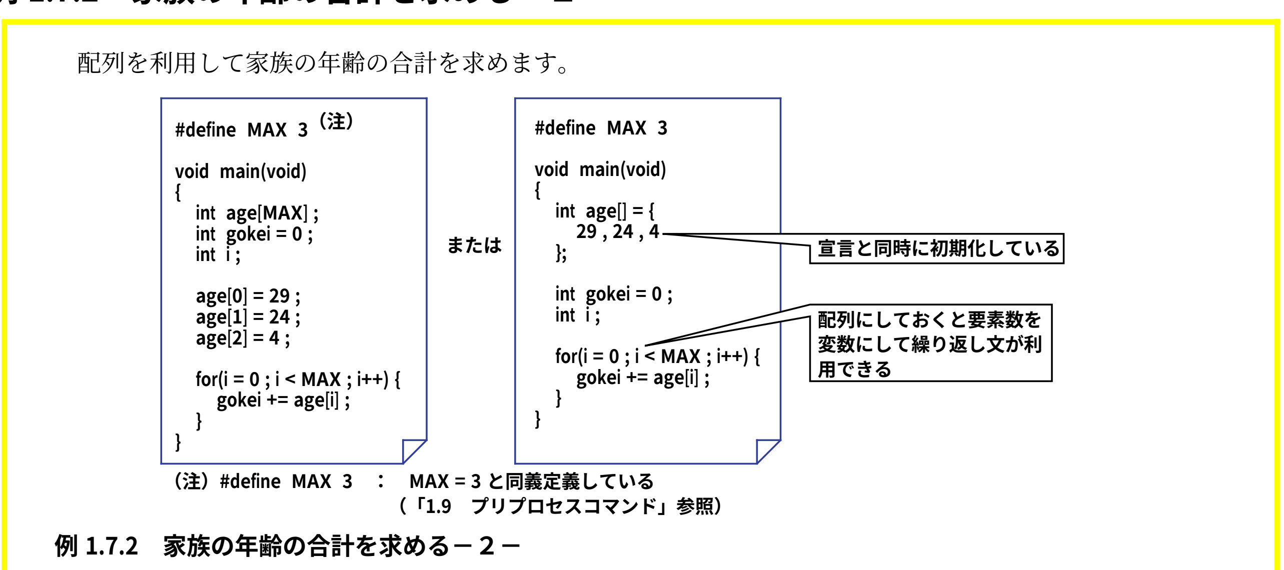


図 1.7.2　1次元配列の宣言とメモリ配置

例 1.7.2　家族の年齢の合計を求める－2－

配列を利用して家族の年齢の合計を求めます。



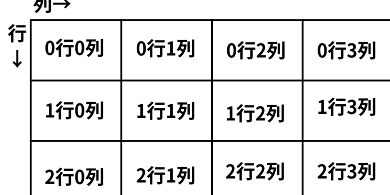
例 1.7.2　家族の年齢の合計を求める－2－

２次元配列

２次元配列は「列」と「行」からなる平面的な広がりをもつ配列です。また、１次元配列の配列とみることもできます。次に宣言の書式を示します。

データ型　配列名［行数］［列数］；

２次元配列を参照するときは配列名に「行番号」と「列番号」の２つを添字として付けます。行番号、列番号ともに'０'から始まるので、最後の番号は「行数（列数）－１」になります。



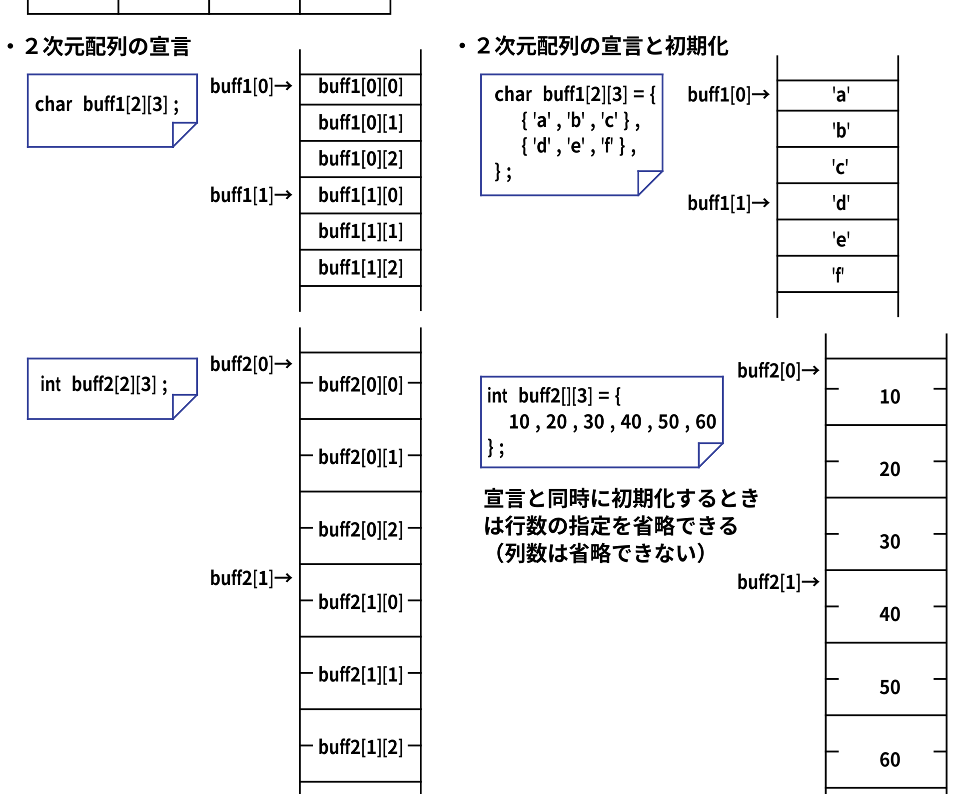


図 1.7.3　２次元配列の宣言とメモリ配置

1.7.3　ポインタ

ポインタ "pointer" とはデータを指し示すもの、つまりアドレスを意味します。

これから紹介する「ポインタ変数」は、データが格納されている「アドレス」を変数として扱います。アセンブリ言語でいうところの「間接アドレッシング」にあたるものです。

この項では、ポインタ変数の宣言と参照方法を説明します。

ポインタ変数の宣言

ポインタ変数は次のような書式で宣言します。

指し示すデータの型　＊ポインタ変数名；

ただし、上の宣言で確保される領域はアドレスを格納する領域のみです。データ本体の領域を確保するには、別に型宣言する必要があります。

・ポインタ変数の宣言

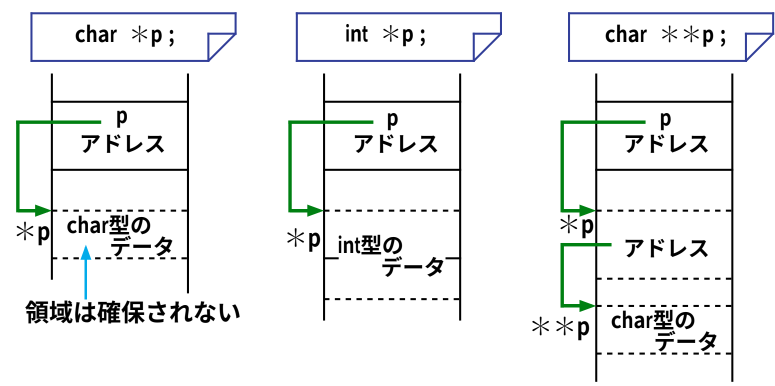


図 1.7.4　ポインタ変数の宣言とメモリ配置

ポインタと変数の関係

次にポインタ変数と変数の関係を、int 型の変数 ' a ' に対してポインタ変数 ' p ' を使って定数 ' 5 ' を代入する方法を例として説明します。

```
void  main(void)
{
    int  a ;
    int  *p ;

    p = &a ;
    *p = 5 ;
}
```

アドレス演算子

「&a」は変数aのアドレスを表す
「*p」は変数aの内容を表す

図 1.7.5　ポインタ変数と変数の関係

コラム　ポインタ変数のデータ長は？

C 言語プログラムの変数のデータ長は、データ型により決まります。ポインタ変数の場合、その内容はアドレスです。したがって、使用するマイクロプロセッサがアクセスできる全アドレス空間を表現できるだけのデータ長がポインタ変数に対して用意されることになります。

NC30 のポインタ変数は、該当するデータがどの領域（near 領域または far 領域）にあるかによって 2 バイトまたは 4 バイトのデータ長をもちます。詳しくは「2.1　メモリ配置」を参照してください。

1.7.4 ポインタの活用

この項では、ポインタの活用例を説明します。

ポインタ変数と１次元配列

配列名に要素番号を示す添字を記述する方法では、「インデックスアドレッシング」としてコード化されます。このため、配列をアクセスする際には常に「先頭から何番目」というアドレス計算が必要になります。

一方、ポインタ変数を利用すると間接アドレッシングとなります。

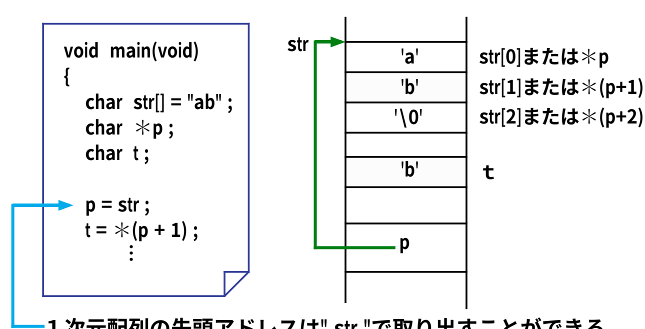


図 1.7.6 ポインタ変数と１次元配列

ポインタ変数と２次元配列

２次元配列も１次元配列と同様、ポインタ変数を使ってアクセスできます。

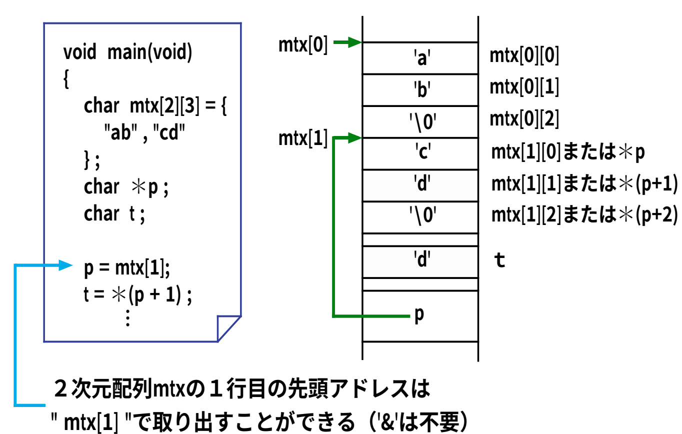


図 1.7.7 ポインタ変数と２次元配列

関数のアドレス渡し

C 言語の関数間の基本的なデータの受け渡しは「値渡し "Call by Value"」です。しかしこの方法では、配列や文字列を引数や戻り値にすることができません。

そこで使用される方法が、ポインタ変数を利用した「アドレス渡し "Call by Reference"」です。この方法は配列や文字列のアドレスを受け渡しする以外に、複数のデータを戻り値にしたいときにも利用できます。

ただし値渡しとは違い、アドレス渡しでは、呼び出し側のデータを直接書き換えることになるので、関数の独立性は低くなります。

図 1.7.8 にアドレス渡しにより配列を受け渡す例を示します。

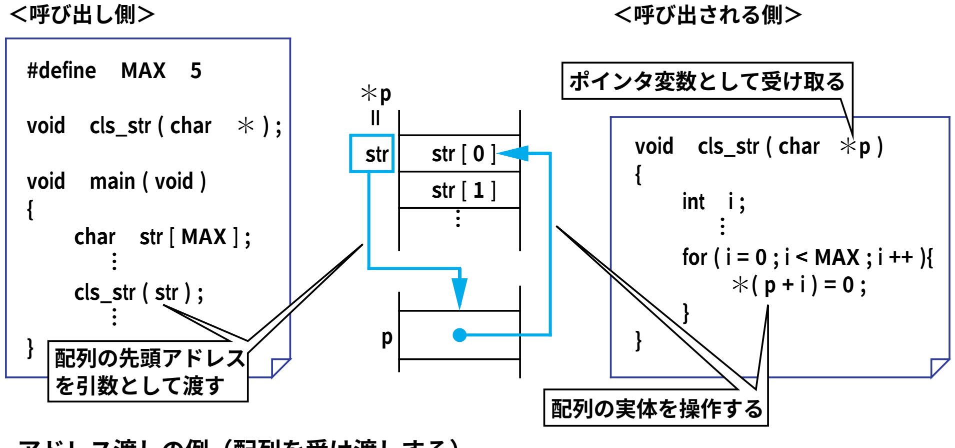


図 1.7.8　アドレス渡しの例（配列を受け渡しする）

コラム　関数間で高速にデータを受け渡しする

関数間でデータを受け渡しする方法として、値渡しとアドレス渡し以外に、受け渡しするデータを外部変数にする方法があります。

この方法では関数の独立性が失われてしまうので、C 言語のプログラムとしては推奨できません。しかし関数呼び出し時の入口処理と出口処理（引数と戻り値の受け渡し）がなくなるので、高速に関数を呼び出すことができるというメリットがあります。この性質を利用して、汎用性をあまり必要とせず、しかも高速処理を行いたい ROM 化プログラムではよく使用されます。

1.7.5 ポインタの配列化

この項では、ポインタ変数を配列にした「ポインタ配列」を説明します。

ポインタ配列の宣言

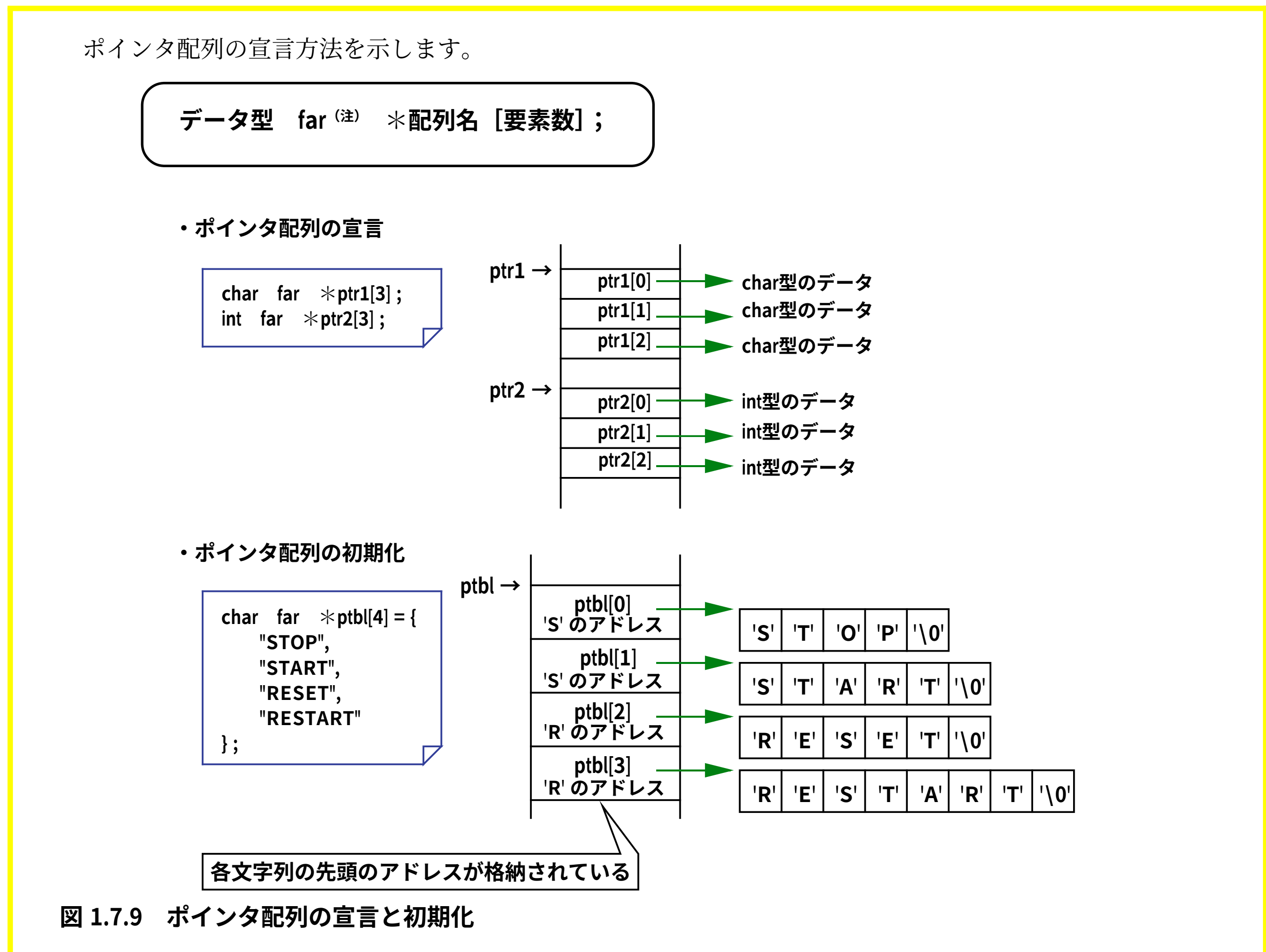


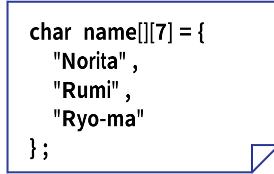
図 1.7.9 ポインタ配列の宣言と初期化

(注) NC30 では、ポインタ配列の実体データは far 領域に配置されます。したがってポインタには "far" を記述してください (詳細は「2.3.1 効率よいアドレッシング」を参照)。

ポインタ配列と２次元配列

ポインタ配列と２次元配列の違いを説明します。２次元配列で文字数の異なる複数の文字列を宣言したとき、空いた領域はヌルコード' \0 'で埋まります。同じことをポインタ配列で定義するとメモリの空きが発生しません。このため、大量の文字列を操作するときや少しでもメモリ使用量を抑えたいときに有効な手法です。

・２次元配列



'N'	'o'	'r'	'i'	't'	'a'	'\0'
'R'	'u'	'm'	'i'	'\0'	'\0'	'\0'
'R'	'y'	'o'	'-'	'm'	'a'	'\0'

ヌルコードで埋まる

・ポインタ配列

```
char far *name[3] = {
    "Norita" ,
    "Rumi" ,
    "Ryo-ma"
} ;
```

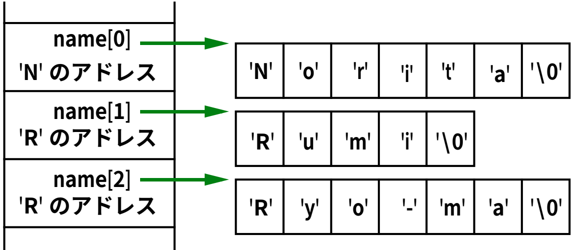


図 1.7.10　２次元配列とポインタ配列の違い

1.7.6　関数ポインタを使ったテーブルジャンプ

アセンブリ言語のプログラムでは、あるデータの内容によって切り換えるべき処理が増えると「テーブルジャンプ」を使用します。前述のポインタ配列を利用すると、同様のことがC言語でも記述できます。

この項では、「関数ポインタ」を使ったテーブルジャンプの記述方法を説明します。

関数ポインタとは

前述のポインタと同様、関数の先頭アドレスを指し示すものが「関数ポインタ」です。関数ポインタを使用すると呼び出す関数をパラメータにできます。宣言と参照の書式を次に示します。

＜宣言の書式＞　　戻り値の型　（＊関数ポインタ名）（引数のデータ型）；
＜参照の書式＞　　戻り値を格納する変数＝（＊関数ポインタ名）（引数）；

例 1.7.3　テーブルジャンプを使った四則演算の切り換え

変数 "num" の内容によって演算方法を切り換えます。

```
/* プロトタイプ宣言   ***************/
int   calc_f ( int , int , int ) ;
int   add_f (int , int ) , sub_f ( int , int ) ;
int   mul_f ( int , int ) , div_f ( int , int ) ;

/*  ジャンプテーブル   **************/
int   (*const   jmptbl[] ) ( int , int ) = {
      add_f , sub_f , mul_f , div_f
} ;

void   main ( void )
{
      int   x = 10 , y = 2 ;
      int   num , val ;

      num = 2 ;
      if ( num < 4 ) {
            val = calc_f ( num , x , y ) ;
      }
}

int   calc_f ( int  m , int  x , int  y )
{
      int   z ;
      int   (*p ) ( int , int ) ;

      p = jmptbl [ m ] ;
      z = (*p ) ( x , y ) ;
      return   z ;
}
                  :
```


例 1.7.3　テーブルジャンプを使った四則演算の切り換え

1.8　構造体と共用体

1.8.1　構造体と共用体

これまでのデータ型（char型、signed int型、unsigned long int型など）は、コンパイラ仕様で決められた「基本データ型」といわれるものです。

C言語ではこれらの基本データ型をもとにして新しいデータ型を作ることができます。それが「構造体」と「共用体」です。

以下の項では、構造体と共用体の宣言方法と参照方法を説明します。

基本データ型から構造体へ

構造体や共用体を使用すれば、基本データ型をもとにして目的に応じた、より複雑なデータ型を作成できます。しかも、新たに作成されたデータ型は基本データ型と同じように参照したり、配列にすることができます。

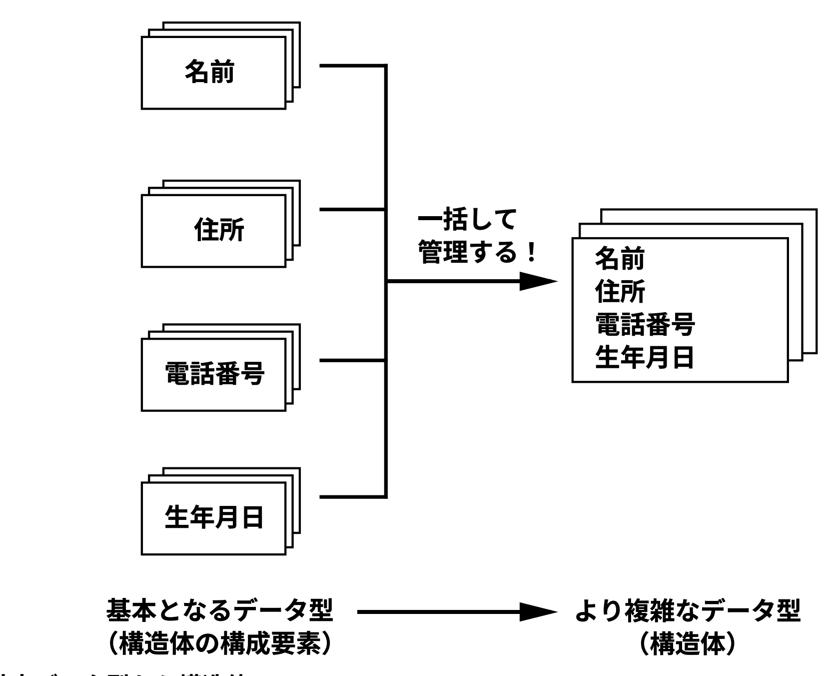


図 1.8.1　基本データ型から構造体へ

1.8.2　新しいデータ型の作成

新しいデータ型の基本となる構成要素のことを「メンバ」といいます。新しいデータ型を作るには、構成するメンバを定義します。この定義によって、これまでの変数と同じように、宣言して領域を確保し、必要に応じて参照できます。

この項では、構造体と共用体、各々の定義と参照方法を説明します。

構造体と共用体の違い

構造体と共用体では領域を確保する際、メンバの配置方法が異なります。

(1) 構造体：メンバをシーケンシャルに配置します。

(2) 共用体：メンバを同一アドレスから配置します。
（複数のメンバが同一メモリ領域を共有します）

構造体の定義と宣言

構造体を定義するためには「"struct"」を記述します。

```
struct　構造体タグ {
        メンバ1;
        メンバ2;
          ⋮
};
```

上のように記述すると「struct　構造体タグ」というデータ型ができます。このデータ型を使って宣言すれば、通常の変数と同様、メモリ領域が確保されます。

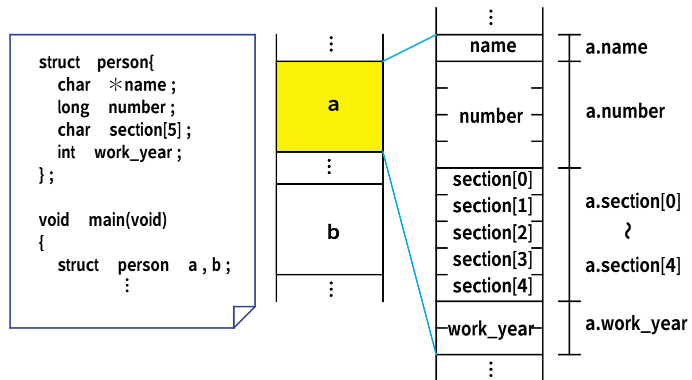
```
struct　構造体タグ　構造体変数名;
```

構造体の参照

構造体の各メンバを参照するときは、「構造体メンバ演算子 ' . '」を用います。

構造体変数名 . メンバ名

構造体変数を初期化するときは、各メンバの初期化データを宣言順に、型を合わせて書き並べます。



nameの格納されている領域がnear領域の場合"struct person"は13バイトの型となり、
far領域の場合15バイトの型となる

・構造体変数の初期化

```
struct person a = {
    "SATOH" , 10025 , "T511" , 25
} ;
```

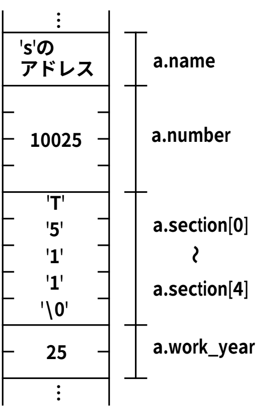


図 1.8.2 構造体の宣言とメモリ配置

ポインタを使った参照例

ポインタを使って各メンバを参照するときは、「'->'」を使用します。

ポインター＞メンバ名

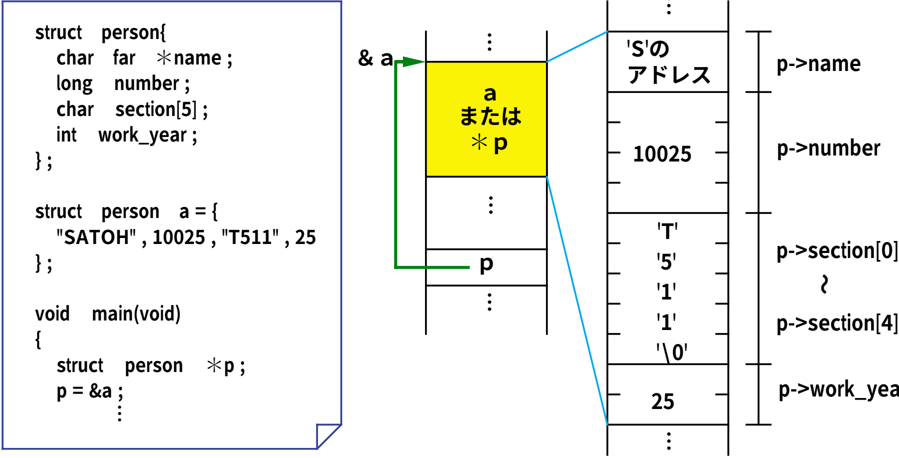


図 1.8.3 ポインタを使った参照例

共用体

共用体はメモリ上のある領域を全メンバで共用します。このため、絶対に同時に存在しない複数のデータを共用体にするとメモリ使用量を節約できます。また、状況によって 16 ビット単位、8 ビット単位など、扱う単位を切り換えたいデータに対して便利な機能です。

共用体を定義するためには「" union "」を記述します。この記述以外の定義、宣言、参照については構造体の場合と同じです。

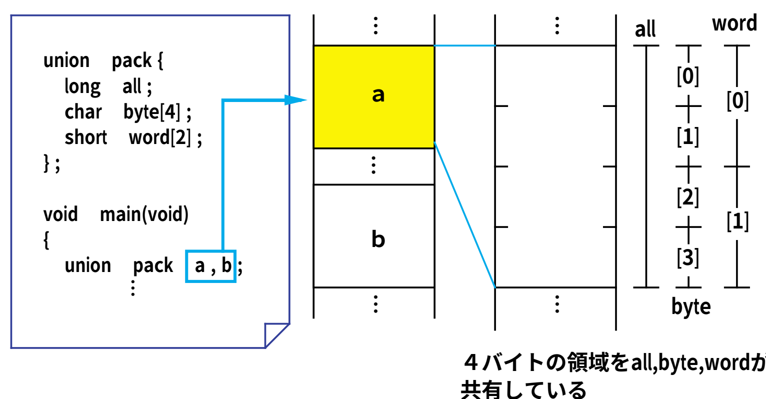


図 1.8.4　共用体の宣言と参照

コラム　型定義

構造体や共用体では " struct " や " union " のキーワードが必要なため、定義されたデータ型の文字数が増えてしまいます。これを回避する方法に「型定義 " typedef "」があります。

typedef　既存型名　新規型名 ;

上のように記述すると、新規型名が既存型名と同義語とみなされ、プログラム中ではどちらの型名も使用できます。では実際に " typedef " を使用した例を図 1.8.5 に示します。

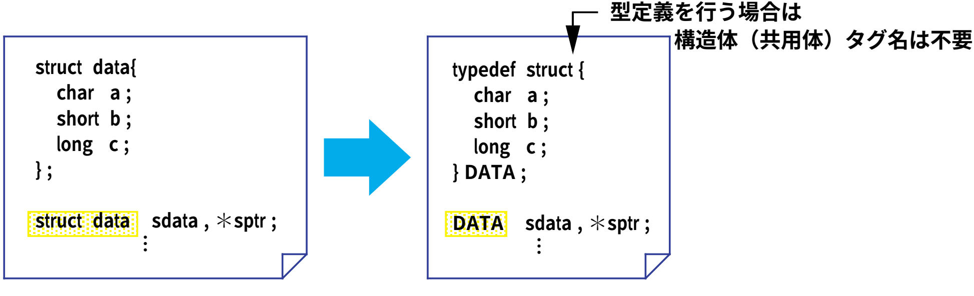


図 1.8.5　型定義 " typedef " の使用例

1.9 プリプロセスコマンド

1.9.1 NC30 のプリプロセスコマンド

C 言語では、ファイルの取り込み、マクロ機能、条件コンパイルのような機能を「プリプロセスコマンド」としてサポートしています。

以下の項では、NC30 で用意している主なプリプロセスコマンドを説明します。

NC30 のプリプロセスコマンド一覧

プリプロセスコマンドは他の実行文と区別するため、先頭が「'#'」で始まる文字綴りになっています。記述位置は任意ですが、区切りを表すセミコロン';'はつけません。NC30で使用できる主なプリプロセスコマンドを表 1.9.1 に示します。

表 1.9.1 NC30 の主なプリプロセスコマンド

記述	機能
#include	指定したファイルを取り込みます。
#define	文字列の置換およびマクロ定義を行います。
#undef	#defineによる定義を取り消します。
#if〜#elif〜#else〜#endif	条件コンパイルを行います。
#ifdef〜#elif〜#else〜#endif	条件コンパイルを行います。
#ifndef〜#elif〜#else〜#endif	条件コンパイルを行います。
#error	メッセージを標準出力に出力し処理を中断します。
#line	ファイルの行番号を指定します。
#assert	定数式が偽の時に警告を出力します。
#pragma	NC30の拡張機能の処理を指示します。詳細は第２章以降で説明します。

1.9.2　ファイルの取り込み

別のファイルを取り込むためには「" #include "」を使用します。NC30 では、検索するディレクトリによって記述方法が異なります。

この項では、目的別に " #include " の記述方法を説明します。

標準ディレクトリを検索する

#include　＜ファイル名＞

起動オプション ' －I ' で指定したディレクトリ内のファイルを取り込みます。このディレクトリにファイルが存在しない場合は、NC30の環境変数" INC30 "で設定した標準ディレクトリを検索し、ファイルを取り込みます。

通常、標準ディレクトリとして「標準インクルードファイル」が入っているディレクトリを指定します。

カレントディレクトリを検索する

#include　" ファイル名 "

カレントディレクトリのファイルを取り込みます。カレントディレクトリにファイルが存在しなければ、起動オプション ' －I ' で指定したディレクトリ、NC30 の環境変数 " INC30 " で設定したディレクトリの順で検索し、ファイルを取り込みます。

標準インクルードファイルと区別するために独自に作成したインクルードファイルをカレントディレクトリに入れて、この記述方法で指定します。

"#include" 使用例

NC30の" #include "では８レベルまでネスティングが可能です。検索対象のどのディレクトリにも該当するファイルが存在しない場合はインクルードエラーを出力します。

```
/*インクルード***********/
#include   <stdio.h>
#include   "usr_global.h"
/*メイン関数************/
void   main ( void )
{
          :
}
```

標準ディレクトリから標準インクルードファイルを読み込む

カレントディレクトリからグローバル変数のヘッダを読み込む

図 1.9.1　" #include " 記述例

1.9.3　マクロ定義

文字列の置換やマクロ定義には「#define　識別子」を使用します。識別子は通常、変数や関数と区別するために大文字を使用します。

この項では、マクロ定義と取り消し方法を説明します。

定数の定義

アセンブラの equ 文と同じように定数に名前を付けることができます。プログラム中のマジックナンバー（意味不明の即値）をなくすためや、定義を共通化するのに有効な方法です。

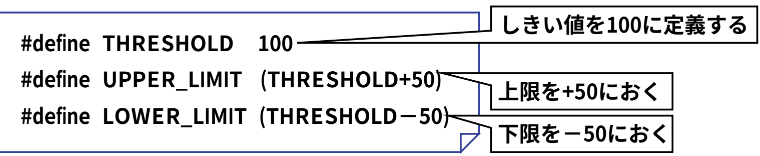


図 1.9.2　定数の定義例

文字列の定義

文字列に名前を付けたり、逆に文字列を削除する場合に使用します。

```
#define TITLE "Position control program"
char mess[] = TITLE ;
```

"TITLE"の位置に定義した文字列が入る

```
#define void

void func()
{
    :
}
```

"void"が削除される
"void"をサポートしていないコンパイラではこの定義をしておけばソースファイルでの変更の必要なし

図 1.9.3　文字列の定義例

マクロ関数の定義

"#define"を使用するとマクロ関数を定義することもできます。このマクロ関数では通常の関数と同様、引数・戻り値の受け渡しができます。しかも通常の関数のように入口処理と出口処理がないために実行速度が速くなります。

また、マクロ関数の場合、引数のデータ型を宣言する必要はありません。

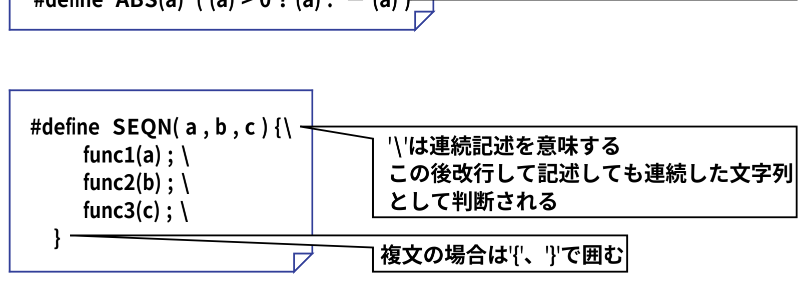


図 1.9.4　マクロ関数の定義例

定義の取り消し

```
#undef　識別子
```

"#define"で定義した識別子の置換を"#undef"以降行いません。

ただし、以下の４つの識別子はコンパイラの予約語のため、"#undef"で無効にしないでください。

・__FILE__　；　ソースファイルの名前
・__LINE__　；　現在のソースファイルの行番号
・__DATE__　；　コンパイルの日付
・__TIME__　；　コンパイルの時間

1.9.4　条件コンパイル

NC30 では３種類の条件でコンパイルを制御できます。
仕様による関数の切り換え、デバッグ用関数の組み込みの有無を制御するときなどに使用します。
この項では、条件コンパイルの種類と記述方法を説明します。

条件コンパイルいろいろ

NC30 で使用できる条件コンパイルの種類を表 1.9.2 に示します。

表 1.9.2　条件コンパイル一覧

記述方法	内容
#if　条件式 　　A #else 　　B #endif	条件式が真（０でない）の場合はＡのブロックをコンパイルし、真でない場合はＢのブロックをコンパイルする
#ifdef　識別子 　　A #else 　　B #endif	識別子が定義されている場合はＡのブロックをコンパイルし、定義されていない場合は、Ｂのブロックをコンパイルする
#ifndef　識別子 　　A #else 　　B #endif	識別子が定義されていない場合はＡのブロックをコンパイルし、定義されている場合はＢのブロックをコンパイルする

３種類とも " #else " のブロックは省略可能です。また３つ以上のブロックに分類したい場合は " #elif " で条件を追加してください。

識別子の定義指定

識別子の定義指定は " #define " または NC30 の起動オプション ' − D' によって指定します。

```
#define　識別子        ←　" #define " による定義指定
%nc30　－ D 識別子      ←　起動オプションによる定義指定
```

条件コンパイル記述例

条件コンパイルを利用して、デバッグ用関数の組み込みを制御した例を図 1.9.5 に示します。

```
#define   DEBUG

void   main ( void )
{
          :
#ifdef   DEBUG
      check_output() ;
#else
      output() ;
#endif
          :
}

#ifdef   DEBUG
void   check_output ( void )
{
          :
}
#endif
```


図 1.9.5　条件コンパイル記述例

第　2　章

ROM 化技術

2.1　メモリ配置
2.2　スタートアッププログラム
2.3　ROM 化のための拡張機能
2.4　アセンブリ言語とのリンク
2.5　割り込み処理

この章では組み込みプログラムを作成するための注意点を NC30 の拡張機能を中心に紹介しています。

2.1　メモリ配置

2.1.1　コード／データの種類

プログラムを構成するデータ／コードは、書き換えできるものやできないもの、初期値を持つものと持たないものなど様々です。すべてのデータ／コードを性質に応じて、ROM 領域、RAM 領域、スタック領域へと配置しなければなりません。

この項では、NC30 で生成されるデータ／コードの種類を説明します。

NC30 が生成するデータ／コード

NC30 が生成するデータ／コードの種類と配置領域を図 2.1.1 に示します。

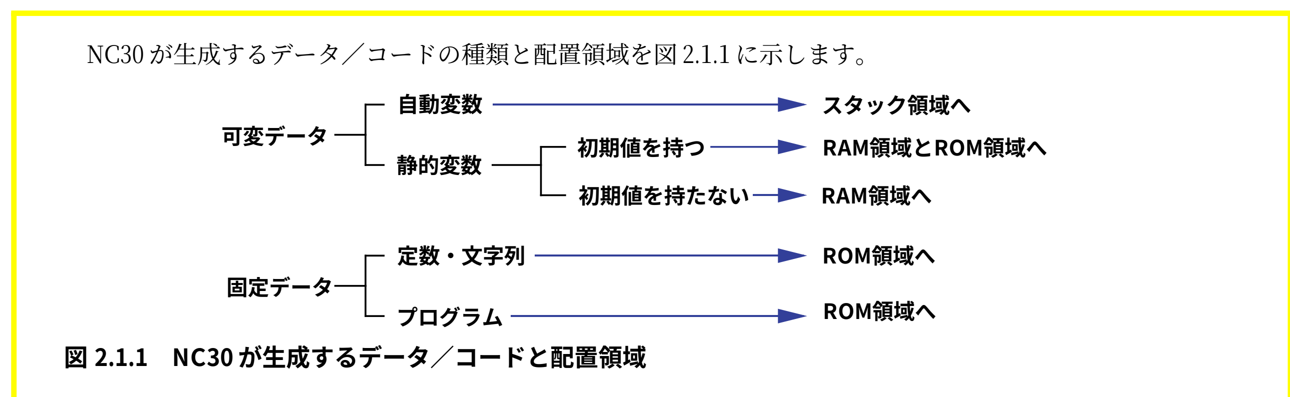


図 2.1.1　NC30 が生成するデータ／コードと配置領域

初期値を持つ静的変数の扱い

「初期値を持つ静的変数」は、書き換え可能なデータですから RAM 上になければなりません。しかし、RAM 上にあると初期値を設定することができません。

NC30 ではこの初期値を持つ静的変数に対しては RAM 上に領域を確保し、ROM 上に初期値を格納します。そしてスタートアッププログラムの中で ROM 上の初期値を RAM 上の領域にコピーします。

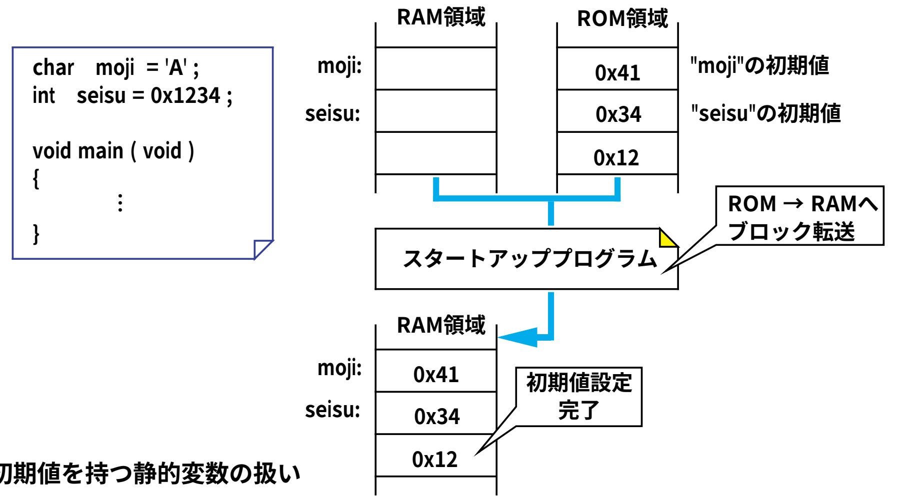


図 2.1.2　初期値を持つ静的変数の扱い

2.1.2 NC30 が管理するセクション

NC30 はデータ／コードの配置領域を「セクション」として管理しています。
この項では、NC30 が生成および管理するセクションの種類と管理方法を説明します。

セクションの構成

NC30 ではデータを種類別にセクションに分けて管理します（図 2.1.3)。NC30 が管理するセクションの構成を表 2.1.1 に示します。

表 2.1.1　NC30 のセクション構成

セクションベース名	内容
data	初期値を持つ静的変数を格納
bss	初期値を持たない静的変数を格納
rom	文字列・定数を格納
program	プログラムを格納
vector	可変ベクタ領域（コンパイラは生成しない）
fvector	固定ベクタ領域（コンパイラは生成しない）
stack	スタック領域（コンパイラは生成しない）
heap	ヒープ領域（コンパイラは生成しない）

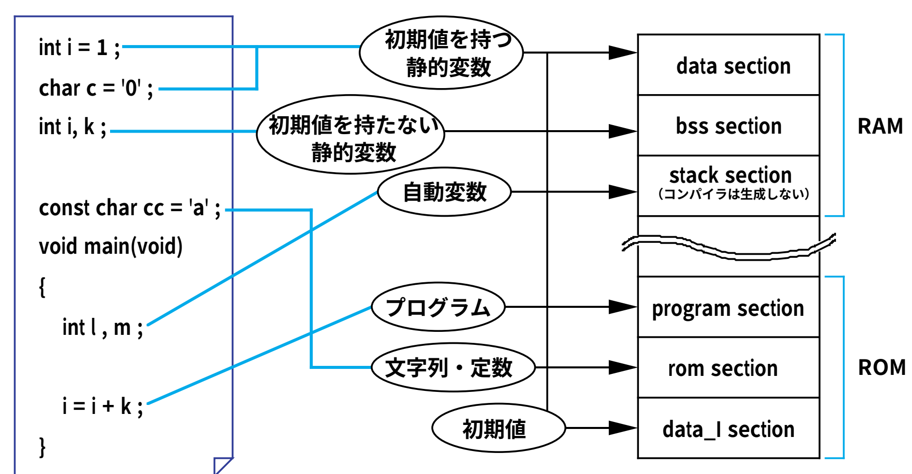


図 2.1.3　データの種類によるセクションへの配置

セクションの属性

NC30 が生成するセクションは、初期値の有無、配置される領域、データサイズなどの「属性」によって、さらに細かく分類されます。

表 2.1.2 に各属性を表す記号と内容を示します。

表 2.1.2　セクションの属性

属性	内容	対象セクションベース名
I	データの初期値を保持するセクション	data
N／F／S	N－near属性（絶対番地0～0FFFFの64Kバイトの領域） F－far属性（0～FFFFF番地の1Mバイト全メモリ領域） S－SBDATA属性 （SB相対アドレッシングを使用できる領域）	data、bss、rom
E／O	E－データサイズが偶数 O－データサイズが奇数	data、bss、rom

属性の指定方法については「2.3.1　効率よいアドレッシング」を参照してください。

セクションの命名規則

NC30 が生成するセクションの名前はセクションベース名と属性によって決められます。

各セクションベース名と属性の組み合わせを図 2.1.4 に示します。

セクション名 ＝ セクションベース名__属性

セクションベース名: data | bss | rom | program

属性	意味
N	near属性
F	far属性
S	SBDATA属性
E	偶数サイズデータ
O	奇数サイズデータ
I	初期値を格納

図 2.1.4　セクション名の命名規則

2.1.3 メモリ配置の制御

NC30 ではユーザのシステムに合わせて効率よくメモリ配置ができる拡張機能を用意しています。
この項では、メモリ配置のための拡張機能を説明します。

セクション名を変更する（#pragma SECTION）

#pragma SECTION 規定セクションベース名 変更セクションベース名

NC30 が生成するセクションベース名を変更します。" program " を変更した場合とそれ以外のセクションベース名を変更した場合では、変更名の有効範囲が異なります。

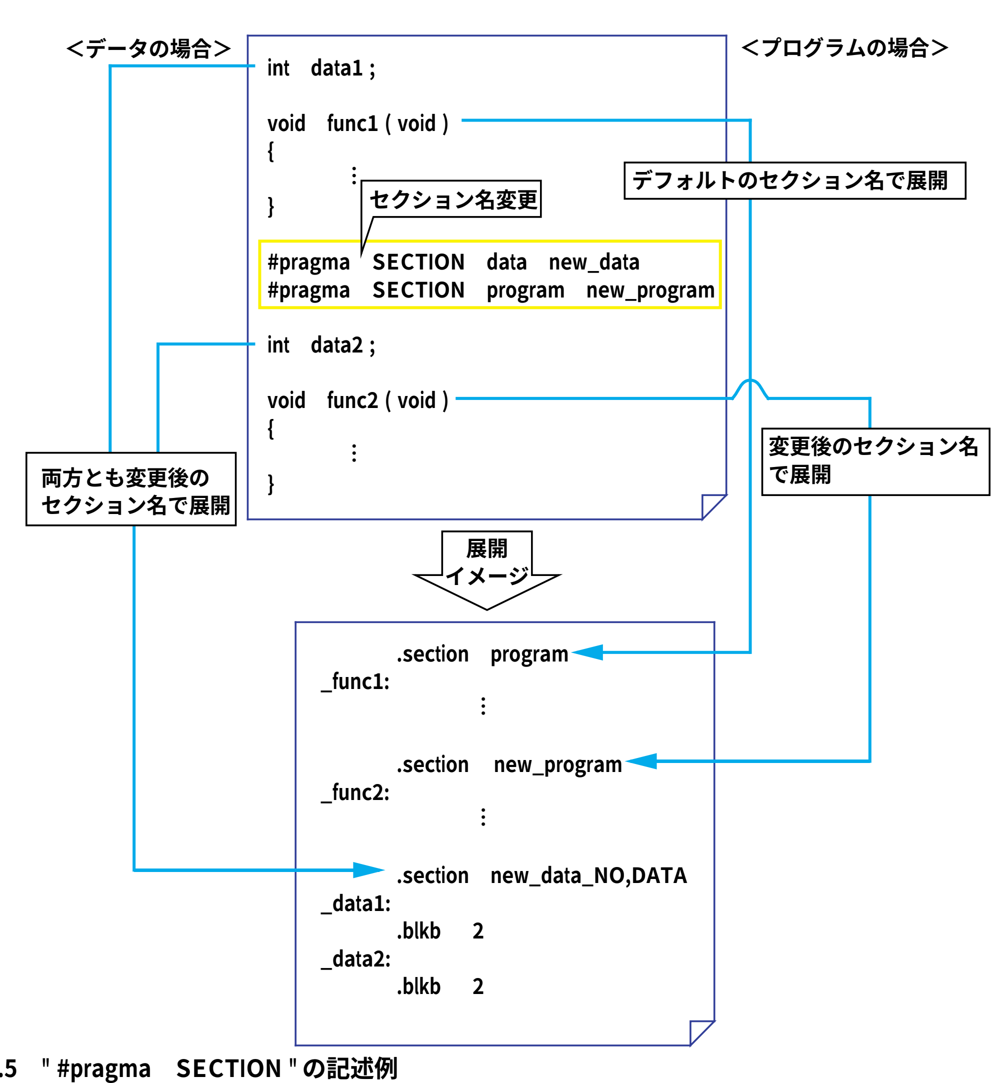


図 2.1.5 " #pragma SECTION " の記述例

強制的に ROM セクションへ配置する（const 修飾子）

変数の型宣言時に初期データを記入すると、RAM 領域と ROM 領域の両方が確保されます。しかし、このデータがプログラム実行中変化しない固定データであるとき、型宣言時に「const 修飾子」を記述します。すると ROM 領域のみが確保され、RAM 領域は使用しませんのでメモリ使用量を節約できます。また、コンパイル時に明示的な代入をチェックするため、書き換えミスをチェックできます。

```
const　データ型　変数名　;
```

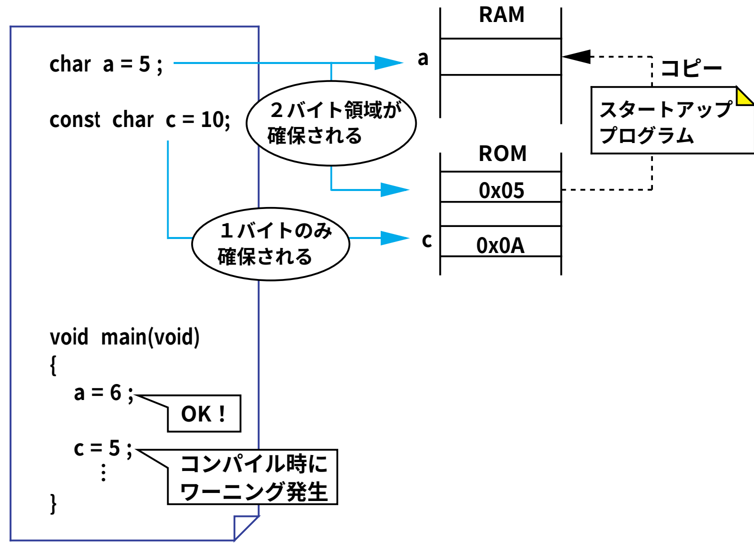


図 2.1.6　const 修飾子とメモリ配置

2.1.4　構造体のメモリ配置の制御

NC30 では構造体を配置する場合、メモリ使用量が最小になるように宣言順につめて（パックして）配置します。しかし、処理スピードを重視するときなどは「" #pragma　STRUCT "」を記述し、構造体の配置方法を制御できます。

この項では、構造体の配置に関する拡張機能を説明します。

NC30 の構造体配置規則

NC30 では以下の規則に基づいて構造体のメンバを配置します。
(1) 構造体はパックします。構造体の内部にパディング（隙間）は発生しません。
(2) メンバの宣言順に配置します。

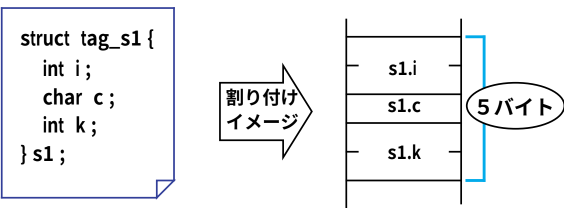


図 2.1.7　NC30 デフォルトの構造体の割り付けイメージ

構造体メンバのパックの禁止（#pragma　STRUCT　tag 名　unpack）

構造体メンバの合計サイズが偶数バイトになるようにパディング（隙間）を入れます。アクセススピードを優先するときに指定します。

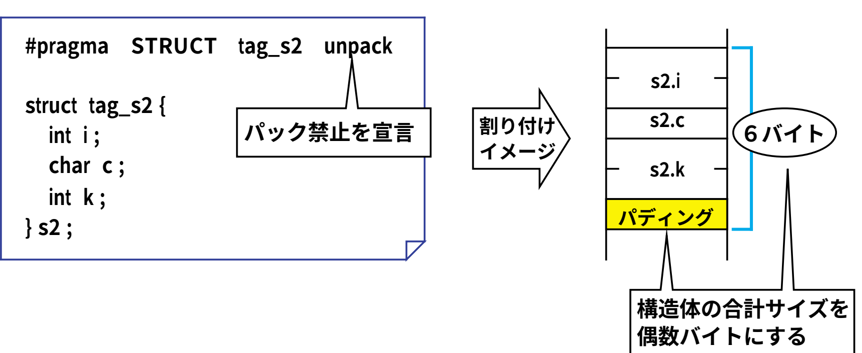


図 2.1.8　構造体メンバのパックの禁止

構造体メンバの配置の最適化（#pragma　STRUCT　tag 名　arrange）

構造体メンバの宣言順にとらわれず、偶数サイズのメンバを先に配置します。前述のパック禁止 " #pragma STRUCT　unpack " と合わせて使用すると、偶数サイズの各メンバが偶数番地から配置されることになるので、効率の良いメモリアクセスを実現できます。

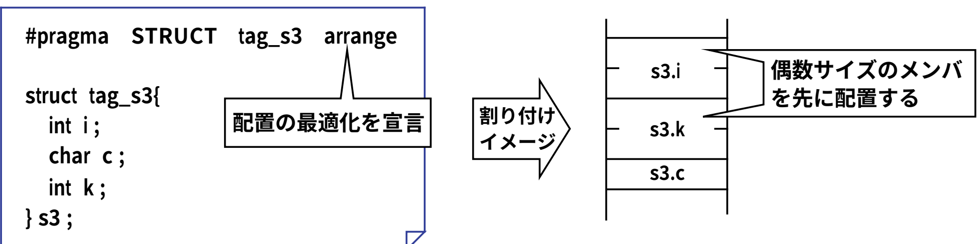


図 2.1.9　構造体メンバの配置の最適化

2.2　スタートアッププログラム

2.2.1　スタートアッププログラムの役割

組み込み型のプログラムを正常に動作させるためには、処理の前にマイコンの初期化やスタック領域の設定を行わなければなりません。通常、これらの処理はC言語では記述できません。そこでC言語のソースプログラムとは別に、アセンブリ言語で初期設定用のプログラムを記述します。これが「スタートアッププログラム」です。

以下の項では、NC30が用意しているサンプルスタートアッププログラム「" ncrt0.a30 "」と「" sect30.inc "」について説明します。

スタートアッププログラムの役割

スタートアッププログラムの役割を示します。
(1) スタック領域の確保
(2) マイコンの初期設定
(3) 静的変数領域の初期化
(4) 割り込みテーブルレジスタ " INTB " の設定
(5) main 関数の呼び出し
(6) 割り込みベクタテーブルの設定

サンプルスタートアッププログラムの構成

NC30 のサンプルスタートアッププログラムは " ncrt0.a30 " と " sect30.inc " の 2 つのファイルで構成されています。

ncrt0.a30

- heap領域のサイズの設定
- スタック領域のサイズの設定
- 割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定
- .include sect30.inc
- SB領域の設定
- 変数領域の初期化用マクロ定義

プログラム部

- プロセッサ動作モードの設定
- スタックポインタの初期化
- FB,SBレジスタ初期化
- INTBレジスタ初期化
- データのnear領域の初期化
- データのfar領域の初期化
- heap領域の初期化
- 標準入出力関数ライブラリの初期化
- main関数の呼び出し

sect30.inc

- 各セクションの配置の設定
- セクション開始アドレスの設定
- 可変ベクタテーブルの設定
- 固定ベクタテーブルの設定

図 2.2.1　サンプルスタートアッププログラムの構成

2.2.2 スタック使用量の見積もり

スタートアッププログラムの中で適切なスタックサイズを設定します。スタックサイズが小さすぎればシステムの暴走につながりますし、大きすぎればメモリの無駄遣いです。

この項では、適切なスタックサイズの見積もり方について説明します。

スタックを使用するもの

スタックを使用するものには次のようなものがあります。

(1) 自動変数領域
(2) 複雑な演算などに使用するテンポラリ領域
(3) 戻り先番地
(4) 旧フレームポインタ
(5) 関数への引数

スタック使用量表示ファイル

個々の関数のスタック使用量を計算します。プログラムリストから見積もることも可能ですが、NC30 起動時に起動オプション" －fshow_stack_usage "を指定するとスタック使用量情報ファイル" xxx.stk "を生成します。ただし、アセンブリ言語のサブルーチン呼び出しおよびインラインアセンブラによって使用したスタックについては出力されません。これらは、プログラムリストから算出してください。

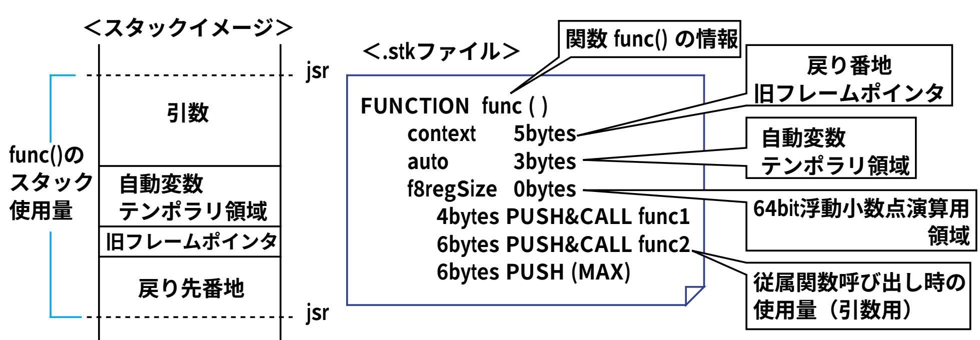


図 2.2.2 スタック使用量情報ファイル

最大スタック使用量の計算

個々の関数のスタック使用量から、関数の呼び出し関係や割り込みを考慮し、最大のスタック使用量を求めます。

図 2.2.3 にサンプルプログラムを使った最大スタック使用量の計算例を示します。

＜ソースファイル" sample.c "＞

```
void  main ( void ) ;
int  func1 ( int , int ) ;
int  func2 ( char , char ) ;
int  func3 ( int ) ;

void  main ( void )
{
        int  m , n ;
        long  kekka1 , kekka2 ;

        kekka1 = func1 ( m , n ) ;
        kekka2 = func2 ( m , n ) ;
}

int  func1 ( int x , int y )
{
        int  z1 , z2 ;

        z1 = x + y ;
        z2 = func3 ( z1 ) ;

        return z2 ;
}

int  func2 ( char x , char y )
{
        int  z ;

        z = x ＊ y ;
        return   z ;
}

int  func3 ( int x  )
{
        return    x ;
}
```

%nc30　-fshow_stack_usage　sample.c

＜スタック使用量情報ファイル" sample.stk "＞

```
FUNCTION main
         context          5 bytes
         auto             8 bytes
         f8regSize        0 bytes
                 0 bytes PUSH &        CALL func1
                 1 bytes PUSH &        CALL func2
                 1 bytes PUSH (MAX)
=======================================
FUNCTION func1
         context          5 bytes
         auto             2 bytes
         f8regSize        0 bytes
                 0 bytes PUSH &        CALL func3
                 0 bytes PUSH (MAX)
=======================================
FUNCTION func2
         context          5 bytes
         auto             2 bytes
         f8regSize        0 bytes
                 0 bytes PUSH (MAX)
=======================================
FUNCTION func3
         context          5 bytes
         auto             0 bytes
         f8regSize        0 bytes
                 0 bytes PUSH (MAX)
=======================================
```

個々の関数で使用するスタック量

関数呼び出し時に使用するスタック量

main()
5+8=13 bytes

① func1()
5+2=7 bytes

func3()
5 bytes

② +1 bytes func2()
5+2=7 bytes

①のパスの時：13+7+5=25 bytes
②のパスの時：13+1+7=21 bytes

最大スタック使用量は25 bytes

図 2.2.3　最大スタック使用量の計算方法

スタックの最大使用量の自動算出

プログラム構成が単純であれば前述の方法でスタックを見積もることが可能です。しかし、プログラムの構成が複雑である場合、内部関数を使用している場合などは、計算が複雑になります。そのような場合は、NC30付属の「スタックサイズ算出ユーティリティ " stk30 "」を使用します。stk30 は、コンパイル時に出力したスタック使用量情報ファイル " xxx.stk " をもとに、自動的に最大スタック使用量を算出し、標準出力に出力します。また、起動オプション ' －o ' をつけると、計算結果と関数の呼び出し関係を「算出結果表示ファイル " xxx.siz "」に出力します。

割り込みスタックサイズを見積もるためには、割り込み関数とその割り込み関数から呼び出される関数のスタック使用量を算出する必要があります。この場合は起動オプション ' －e 関数名 ' を使用します。' －o ' と合わせて使用すると、指定した関数以下でのスタック使用量と関数の呼び出し関係を出力します。

前述のサンプルプログラムを例に、stk30 の処理結果を図 2.2.4 に示します。

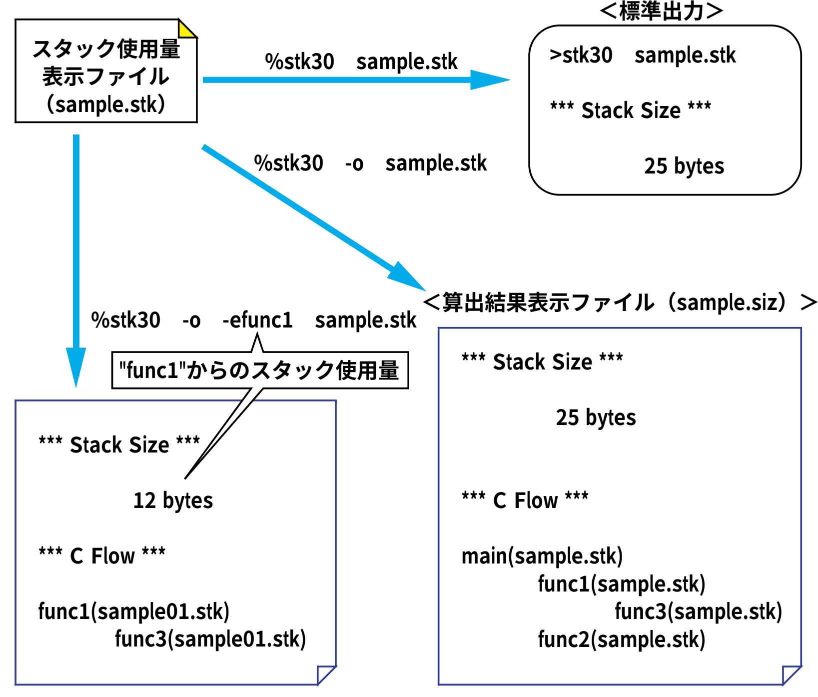


図 2.2.4　スタックサイズ算出ユーティリティ " stk30 "

2.2.3　スタートアッププログラムの作成

サンプルスタートアッププログラムは、作成するプログラムに合わせて変更する必要があります。
この項では、具体的なサンプルスタートアッププログラムの変更方法を説明します。

サンプルスタートアッププログラムの変更

作成するプログラムに合わせて、以下の点を変更してください。

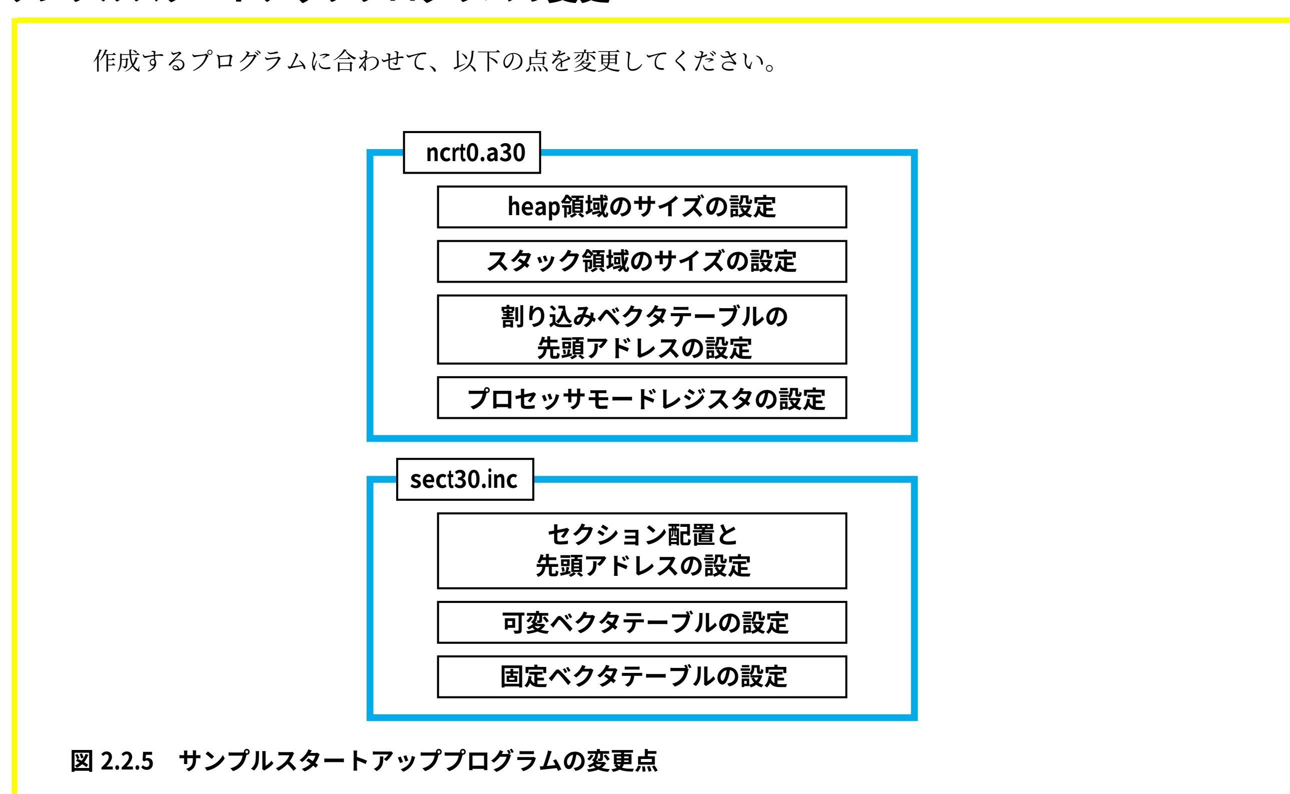


図 2.2.5　サンプルスタートアッププログラムの変更点

heap 領域のサイズの設定（" ncrt0.a30 "）

メモリ管理関数（calloc、malloc）を使用する際に確保するメモリ使用量を設定します。メモリ管理関数を使用しない場合は、' 0 ' を設定してください。このとき、" ncrt0.a30 " 内で heap 領域の初期化を行っている部分をコメントにすると、不要なライブラリがリンクされず、ROM サイズを節約できます。

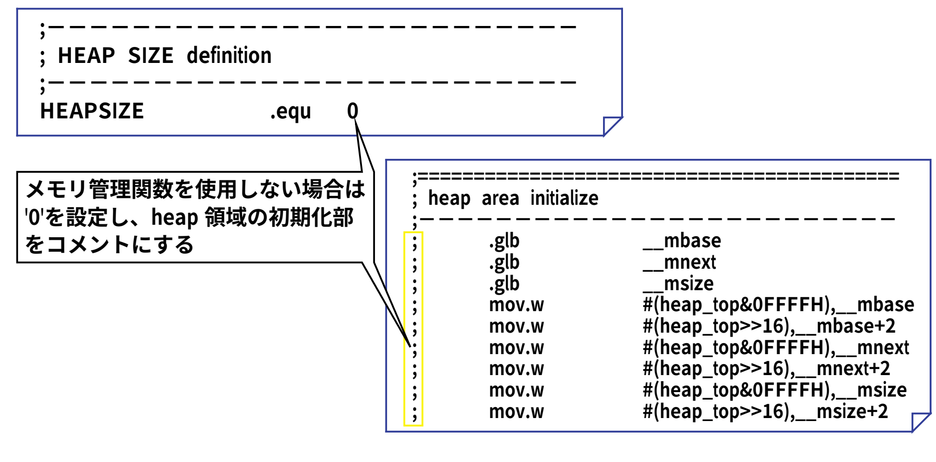


図 2.2.6　heap 領域の設定

スタックサイズの設定（" ncrt0.a30 "）

スタックサイズ算出ユーティリティ " stk30 " などから得られた結果をもとに、ユーザースタックサイズと割り込みスタックサイズを設定します。

多重割り込みを使用する場合は、該当する割り込みのスタック使用量の和を割り込みスタックサイズとして設定してください。

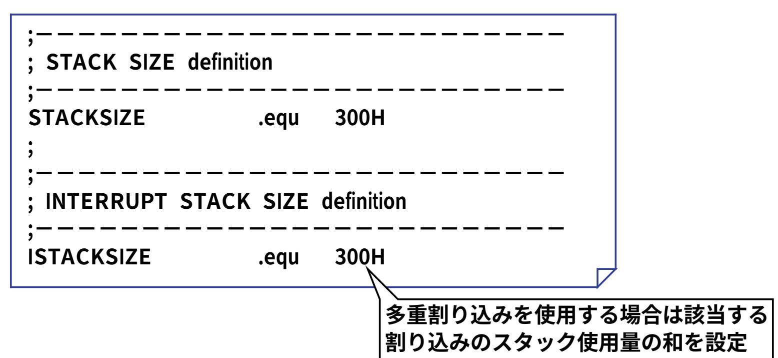


図 2.2.7　スタックサイズの設定

割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定（" ncrt0.a30 "）

割り込みベクタテーブルの先頭アドレスを設定します。この設定値は " ncrt0.a30 " 内で割り込みテーブルレジスタ " INTB " に設定されます。

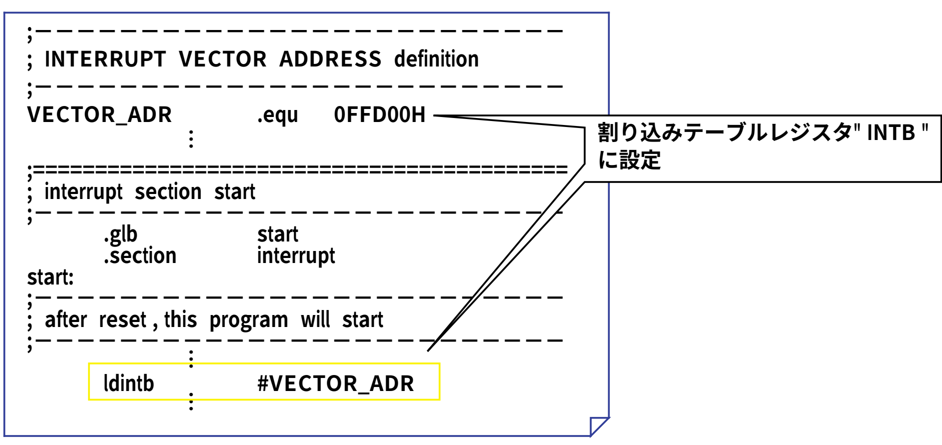


図 2.2.8　割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定

プロセッサ動作モードの設定（" ncrt0.a30 "）

プロセッサ動作モードの設定を行います。同様にシステムクロックの設定などM16C/60、M16C/20の動作を直接制御する命令はここに追加します。追加場所および記述方法を図 2.2.9 に示します。

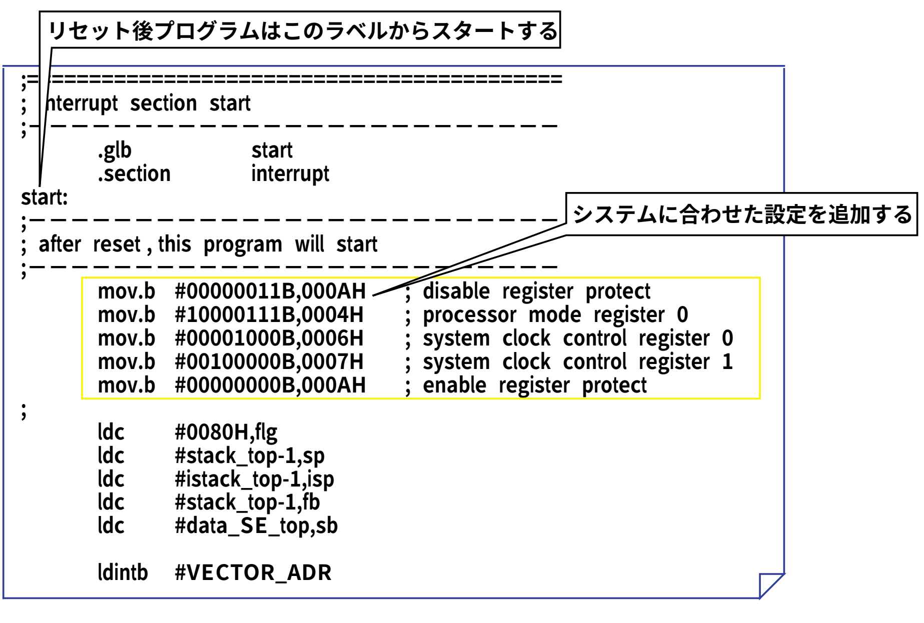


図 2.2.9　プロセッサ動作モードの設定

各セクションの配置と先頭アドレスの設定（" sect30.inc "）

NC30が生成するセクションの配置と先頭アドレスを設定します。セクションの先頭アドレスは疑似命令" .org " を用いて指定します。

先頭アドレス指定がないセクションについては、前に定義したセクションに連続したメモリに配置されます。

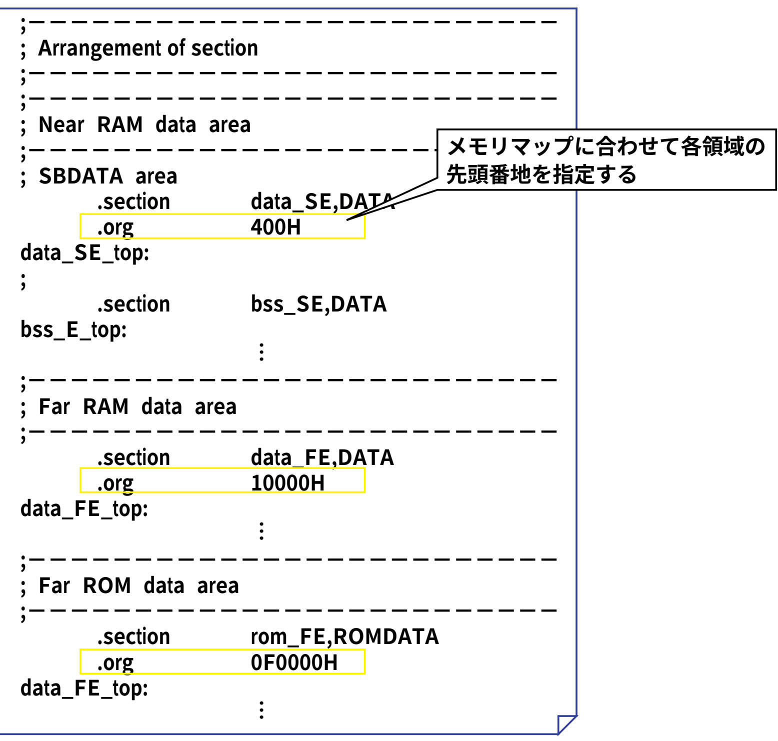

```
;---------------------------------------------------------
; Arrangement of section
;---------------------------------------------------------
;---------------------------------------------------------
; Near RAM data area
;---------------------------------------------------------
; SBDATA area
        .section        data_SE,DATA
        .org            400H
data_SE_top:
;
        .section        bss_SE,DATA
bss_E_top:
                    :
;---------------------------------------------------------
; Far RAM data area
;---------------------------------------------------------
        .section        data_FE,DATA
        .org            10000H
data_FE_top:
                    :
;---------------------------------------------------------
; Far ROM data area
;---------------------------------------------------------
        .section        rom_FE,ROMDATA
        .org            0F0000H
data_FE_top:
                    :
```


図 2.2.10　セクションの先頭アドレスの設定

可変ベクタテーブルの設定（" sect30.inc "）

可変ベクタテーブルに関する設定事項をセクション定義ファイル" sect30.inc "に追加します。設定例を図 2.2.11 に示します。

```
;---------------------------------------------------------------
;           variable vector section
;---------------------------------------------------------------
            .section        vector                  ; variable vector table
            .org            VECTOR_ADR

            .lword          dummy_int               ; vector 0 ( BRK )
            .org            ( VECTOR_ADR + 44 )
            .lword          dummy_int               ; DMA0 ( for user )
            .lword          dummy_int               ; DMA1 ( for user )
            .lword          dummy_int               ; input key ( for user )
            .lword          dummy_int               ; AD Convert ( for user )
            .org            ( VECTOR_ADR + 63 )
            .lword          dummy_int               ; UART0 trance ( for user )
            .lword          dummy_int               ; UART0 receive ( for user )
            .lword          dummy_int               ; UART1 trance ( for user )
            .lword          dummy_int               ; UART1 receive ( for user )
            .lword          dummy_int               ; TIMER A0 ( for user )
            .lword          dummy_int               ; TIMER A1 ( for user )
            .lword          dummy_int               ; TIMER A2 ( for user )
            .lword          dummy_int               ; TIMER A3 ( for user )
            .lword          dummy_int               ; TIMER A4 ( for user ) (vector 25)
            .lword          dummy_int               ; TIMER B0 ( for user ) (vector 26)
            .lword          dummy_int               ; TIMER B1 ( for user ) (vector 27)
            .lword          dummy_int               ; TIMER B2 ( for user ) (vector 28)
            .lword          dummy_int               ;  INT0 ( for user ) (vector 29)
            .lword          dummy_int               ;  INT1 ( for user ) (vector 30)
            .lword          dummy_int               ;  INT2 ( for user ) (vector 31)
            .lword          dummy_int               ;  vector 32 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 33 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 34 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 35 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 36 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 37 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 38 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 39 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 40 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 41 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 42 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 43 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 44 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 45 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 46 ( for user or MR30 )
            .lword          dummy_int               ;  vector 47 ( for user or MR30 )
            ; to vector 63 from vector 32 is used for MR30
```

図 2.2.11　可変ベクタテーブルの設定

固定ベクタテーブルの設定（" sect30.inc "）

固定ベクタテーブルの先頭アドレスと、各割り込みのベクタアドレスを設定します。記述例を図 2.2.12 に示します。

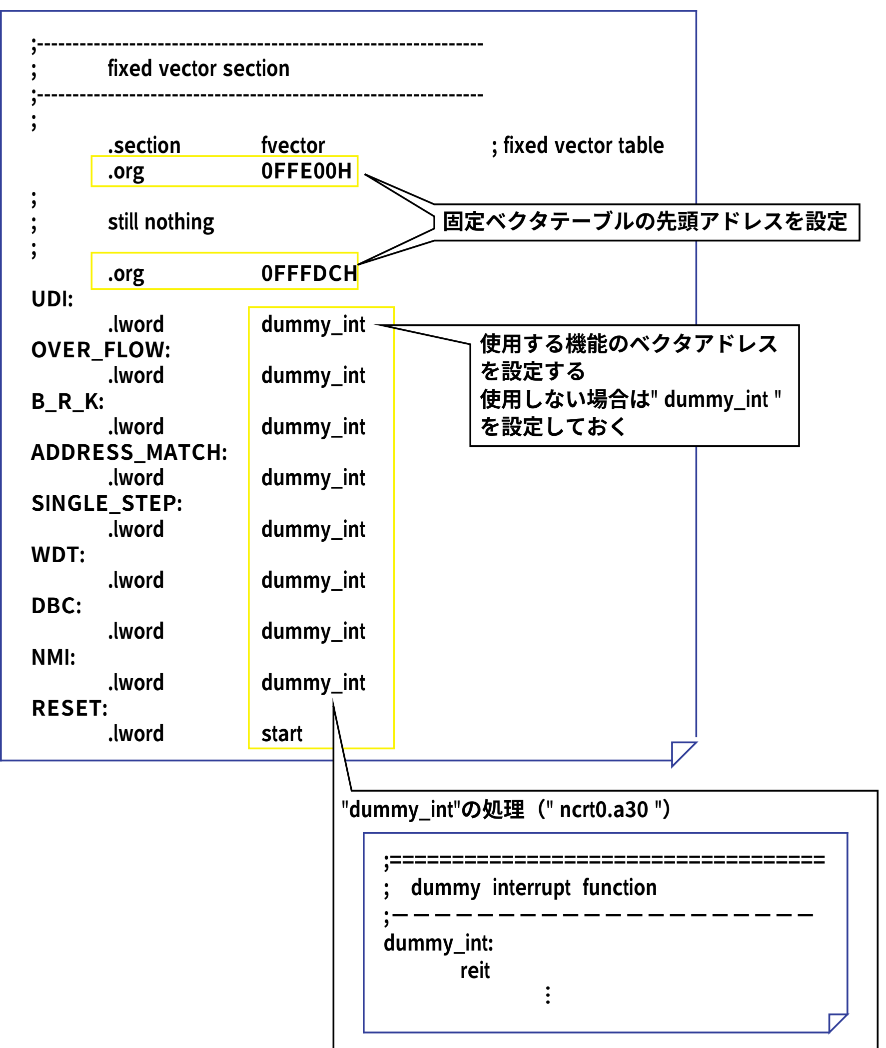


図 2.2.12　固定ベクタテーブルの設定

シングルチップモードで使用するときの注意点

M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズをシングルチップモードで使用する場合は、" near ROM " と " far RAM " 領域は使用しません。図 2.2.13 に示す " ncrt0.a30 " および " sect30.inc " のブロックを削除するか、コメント文にしてください。

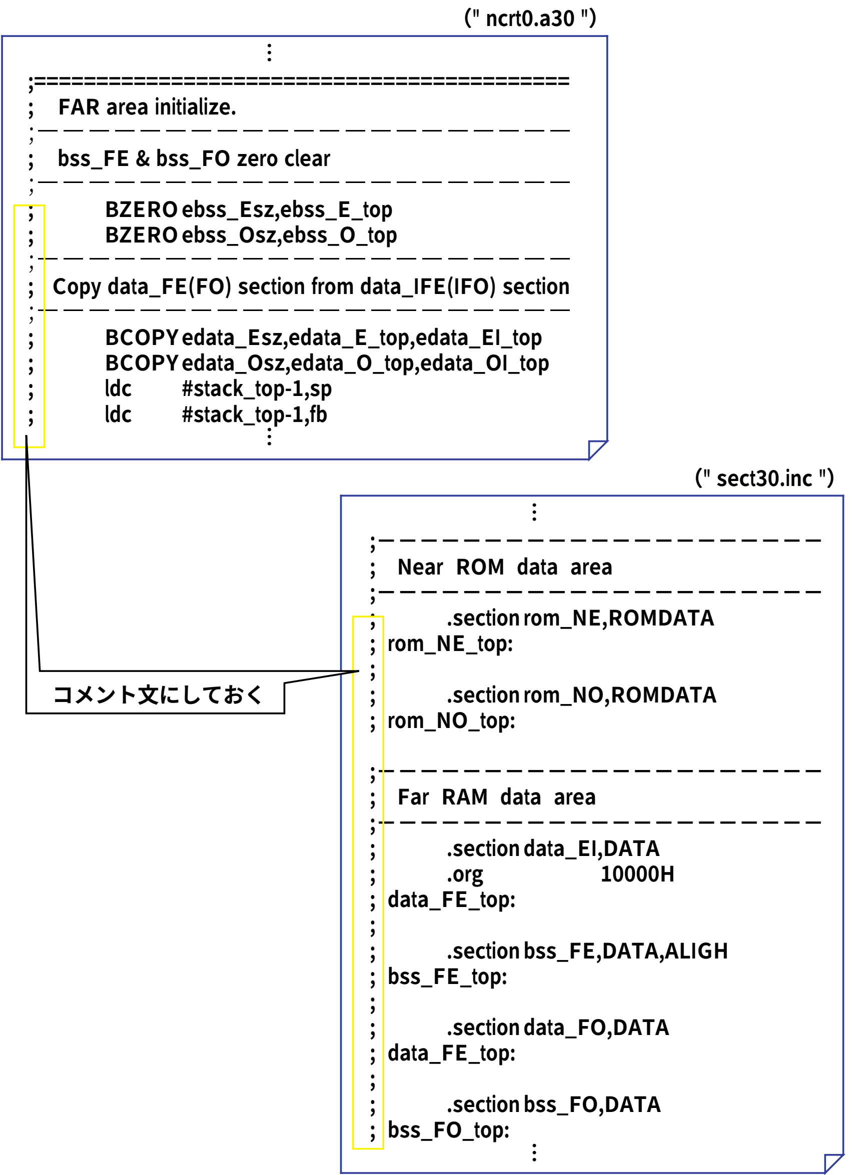


図 2.2.13　シングルチップモードで使用するときの記述例

2.3　ROM 化のための拡張機能

2.3.1　効率よいアドレッシング

M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズのアクセス領域は最大 1M バイトです。NC30 ではこの領域を 00000 ～ 0FFFF 番地の「near 領域」、00000 ～ FFFFF 番地の領域を「far 領域」と分割して管理しています。

この項では、これらの領域への変数、関数の配置方法とアクセス方法を説明します。

near 領域と far 領域

NC30 では最大 1M バイトのアクセス空間を「near 領域」と「far 領域」の 2 つの領域で管理しています。それぞれの領域の特徴を表 2.3.1 に示します。

表 2.3.1　near 領域と far 領域

領域名	内容
near領域	M16C/60シリーズ、M16C/20シリーズがデータを効率よくアクセスできる空間。絶対番地00000～0FFFFの64Kバイトの領域でスタックや内部RAMなどが配置される。
far領域	M16C/60シリーズ、M16C/20シリーズがアクセスできる絶対番地00000～FFFFFの1Mバイトの全メモリ空間。内部ROMなどが配置される。

near ／ far 属性のデフォルト

NC30 では near 領域に配置される変数、関数を「near 属性」、far 領域に配置される変数、関数を「far 属性」と区別しています。変数、関数のデフォルトの属性を表 2.3.2 に示します。

表 2.3.2　near ／ far 属性のデフォルト

分類	属性
プログラム	far固定
RAMデータ	near
ROMデータ	far
スタックデータ	near固定

near／farの属性をデフォルトから変更したい場合は、NC30起動時に次の起動オプションを指定してください。

－ ffar_RAM（－ fFRAM）　；RAM データのデフォルト属性を " far " に変更

－ fnear_ROM（－ fNROM）；ROM データのデフォルト属性を " near " に変更

変数の near ／ far

［記憶クラス］　型指定子　near ／ far　変数名；

型宣言時に near ／ far を指定しなければ、RAM データは near 領域に配置され、const 修飾子を指定したものや ROM データは far 領域へ配置されます。

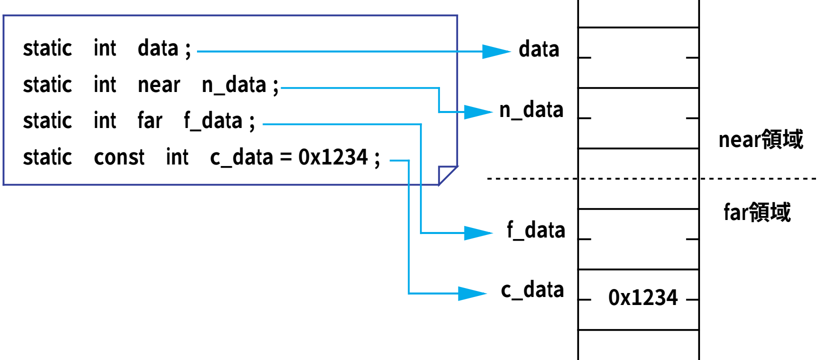


図 2.3.1　静的変数の near ／ far

自動変数に対しては near ／ far を指定しても配置には全く影響を及ぼしません（すべてスタック領域に配置されます)。影響を受けるのは、アドレス演算子 ' & ' の結果だけです。

```
void func(void)
{
        int    near  i_near ;
        int    far  i_far ;

        int    ＊addr_near ;
        int    ＊addr_far ;

        addr_near = &i_near ;
        addr_far = &i_far ;
}
```

&i_near → 16ビット長
&i_far → 20ビット長
near領域用のポインタ変数を用意（後述）
OK !
ワーニング発生！
上位アドレスを無視して代入

図 2.3.2　自動変数の near ／ far

ポインタの near ／ far

ポインタの near ／ far 指定により、ポインタに格納するアドレスのサイズやポインタ自身を配置する領域を指定します。なにも指定しなければすべて near 属性として扱われます。

(1) ポインタに格納するアドレスのサイズを指定する。

［記憶クラス］　型指定子　near ／ far　＊変数名；

near → 16 ビット長（16 ビット絶対）
far　→ 20 ビット長（20 ビット絶対）

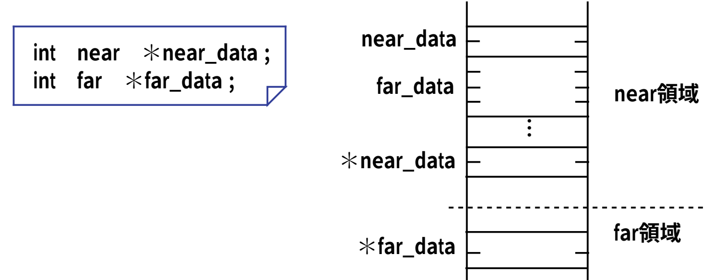


図 2.3.3　ポインタに格納するアドレスサイズを指定

(2) ポインタ自身が配置される領域を指定する。

［記憶クラス］　型指定子　＊ near ／ far　変数名；

near → near 領域へ配置
far　→ far 領域へ配置

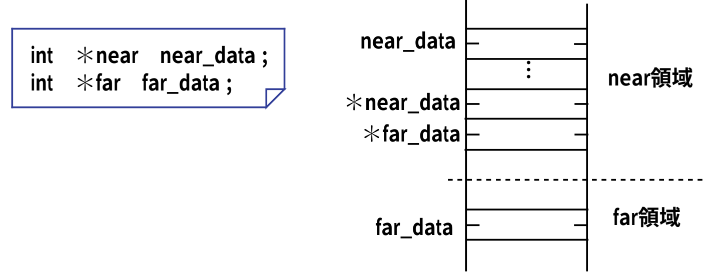


図 2.3.4　ポインタの配置領域を指定

関数の near ／ far

M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズのアーキテクチャ上、NC30 の関数の属性は far 領域固定です。near を指定した場合、NC30 はコンパイル時にワーニングを出力し、強制的に far 領域に配置します。

SB 相対アドレッシングを使用する（#pragma　SBDATA）

```
#pragma　SBDATA　変数名
```

この宣言を行った変数については、AS30 の疑似命令 " .SBSYM " を生成し、参照時に SB 相対アドレッシングモードを使用します。これにより、ROM 効率のより高いコードを生成することが可能となります。

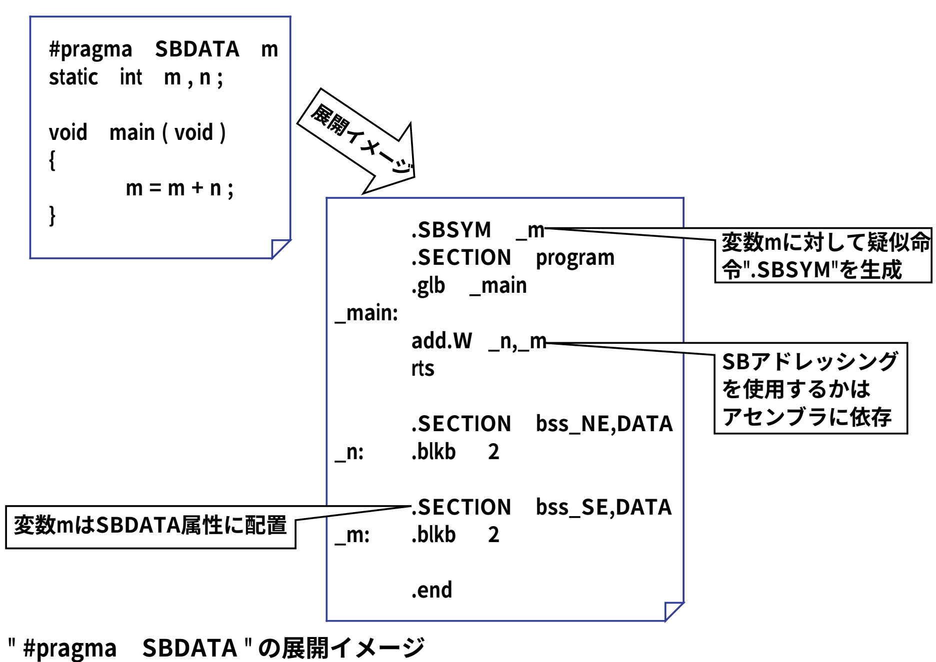


図 2.3.5　" #pragma　SBDATA " の展開イメージ

コラム　ポインタと指し示すデータをともに far 領域に配置する

ポインタ自身と、そのポインタが指し示すデータを両方far領域に配置するためにはどのように宣言すればいいのでしょうか？書式と記述例を次に示します。

```
［記憶クラス］　型指定子　far　＊far　変数名；
例）　int　far　＊far　ff_data :
```

一方、両方 near 領域に配置する場合は near ／ far の指定はいりません。なぜなら NC30 の変数とポインタの扱いは near 属性がデフォルトだからです。

2.3.2 ビットの扱い

NC30 ではビット単位でデータを扱うことができます。方法は構造体の応用である「ビットフィールド」と拡張機能の２通りです。

この項では、それぞれの方法について説明します。

ビットフィールド

NC30 ではビットを扱う方法として、ビットフィールドをサポートしています。ビットフィールドとは、構造体を利用してビットシンボルを割り付ける方法です。書式を以下に示します。

```
struct   tag {
      型指定子   ビットシンボル   ：   ビット数   ；
                  ≀
} ;
```

参照するときは構造体、共用体と同様、ピリオド '.' で区切って指定します。

```
変数名 . ビットシンボル
```

ビットフィールドを宣言した際のメモリへの割り付け方法はコンパイラによって異なります。NC30 の割り付けルールは以下の２つです。図 2.3.6 に具体的な割り付け例を紹介します。

① 下位ビットから順に割り付ける

② データ型の異なるデータは次のアドレスに配置する
（型により確保される領域のサイズが異なる。）

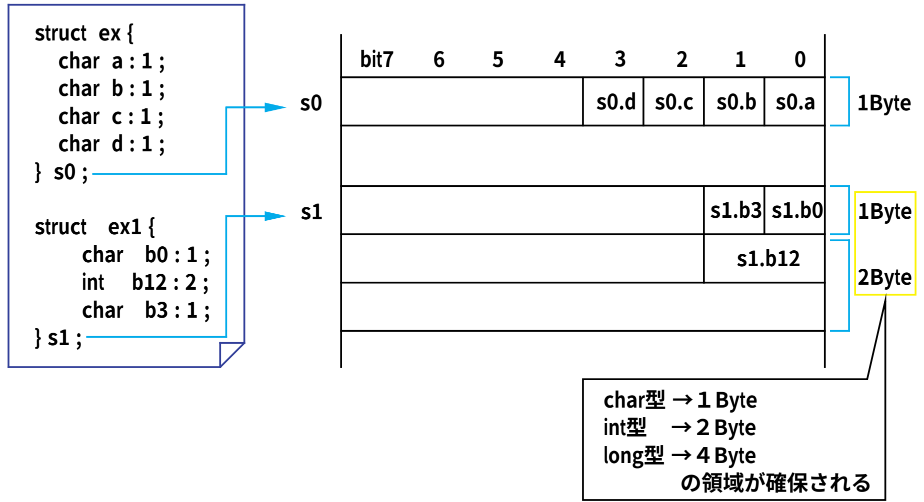


図 2.3.6 ビットフィールドの割り付け例

ビット命令を生成する（#pragma　BIT）

NC30 のビットフィールドは、プログラム内でビットシンボルは扱えますが、ビット命令ではなく論理演算命令を生成します。コード効率のよい、「直接１ビット命令」を出力するためには、拡張機能 " #pragma　BIT " を合わせて記述します。

記述例と展開例を図 2.3.7 に示します。

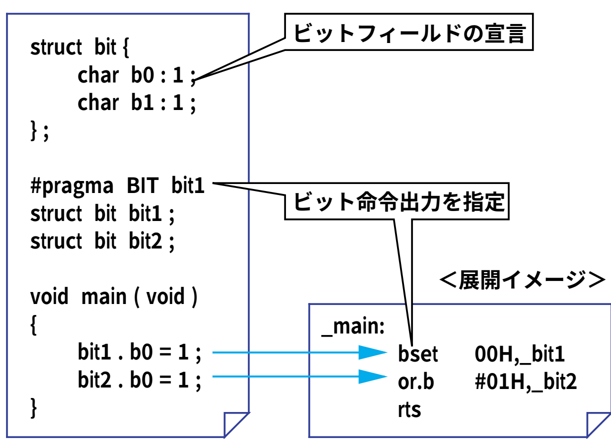


図 2.3.7　" #pragma　BIT " の記述例

" #pragma　BIT "が宣言されたデータ以外に、直接１ビット命令を生成するものとして以下のものがあります。

・ " #pragma　SBDATA "が宣言されている変数
・ " #pragma　ADDRESS " が宣言されており、絶対アドレスが 00000 〜 01FFF 番地にある　　変数
・ ' − fbit ' オプションが指定されているときの near 型変数

2.3.3　I／Oインタフェースの制御

組み込み型システムでI／Oインタフェースを制御する際は、変数に対して絶対アドレスを指定します。NC30で絶対アドレスを指定する方法としてはポインタの利用と、拡張機能の利用の２通りの方法があります。

この項では、それぞれの方法について説明します。

ポインタによる絶対アドレス指定

ポインタを利用すると絶対アドレス指定を行うことができます。記述例を図 2.3.8 に示します。

例）0000a番地に0xefを代入する

```
char ＊point ;
point = (char ＊)0x000a ;
＊point = 0xef ;
```

|| １行にまとめると

```
＊(char ＊)0x000a = 0xef ;
```

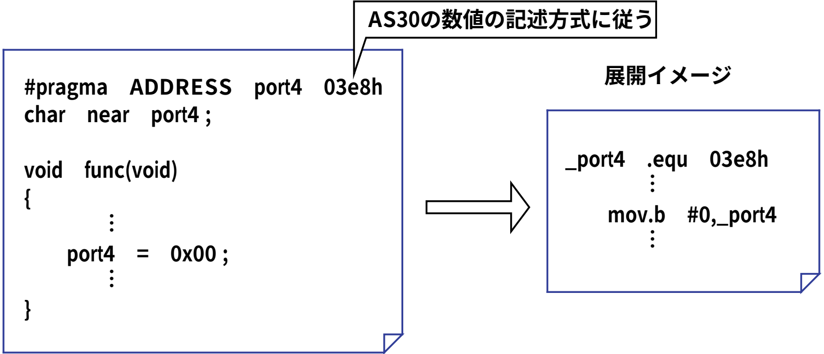
EF	0000a
：	
0A	point
00	

図 2.3.8　ポインタによる絶対アドレス指定

拡張機能による絶対アドレス指定（#pragma　ADDRESS）

```
#pragma　ADDRESS　変数名　絶対アドレス
```

上記の宣言により変数名を、絶対アドレスに配置します。この方法では変数名が絶対アドレスとして同義定義されているため、前述の方法のようにポインタ変数領域をとる必要がなく、メモリ使用量を節約できます。



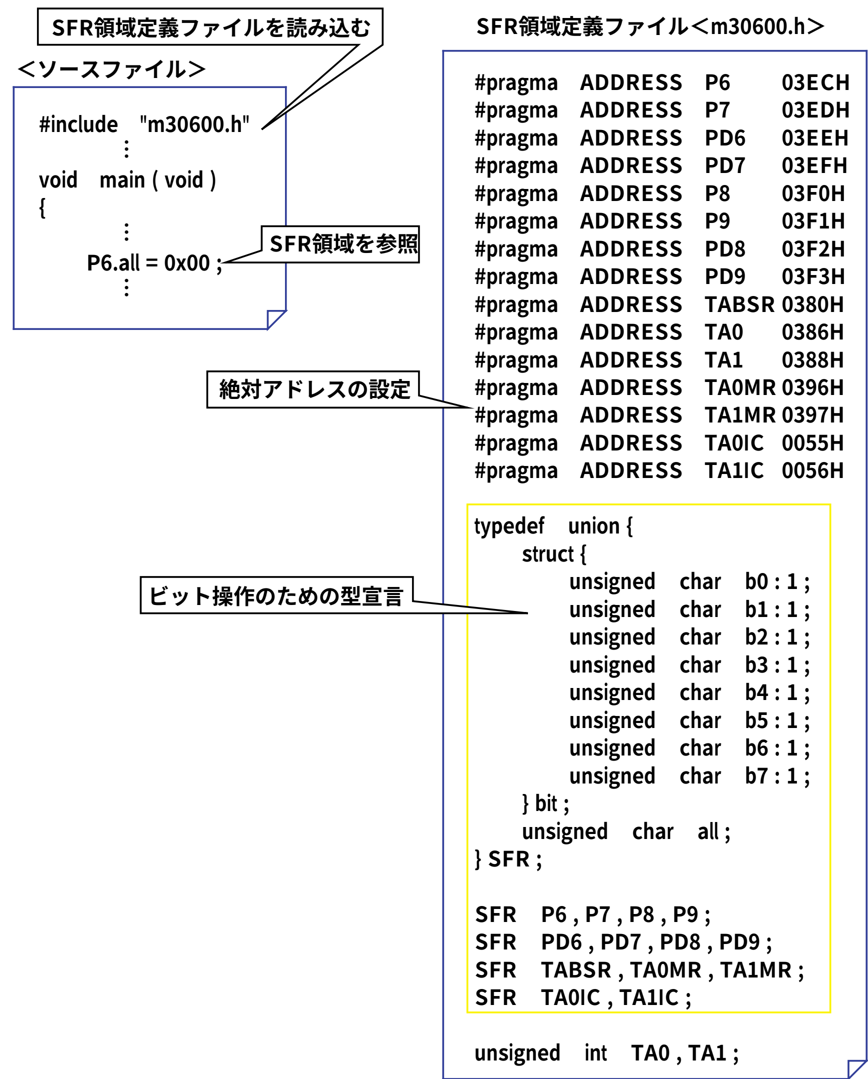
"#pragma　ADDRESS"は、関数外で定義された変数および関数内でスタティック宣言された変数のみに有効

図 2.3.9　" #pragma　ADDRESS " による絶対アドレス指定

例 2.3.1 " #pragma ADDRESS " を利用した SFR 領域の定義

SFR 領域の設定を " #pragma ADDRESS " を用いて行います。この SFR の設定は通常、別ファイルとして用意しておき、ソースプログラムの中でインクルードします。

SFR 領域定義ファイルの一例を次に示します。



例 2.3.1 " #pragma ADDRESS " を利用した SFR 領域の定義

2.3.4　C 言語で書けないときの対処策

「処理時間が間に合わない」、「Cフラグを直接制御したい」などハードウェアに関する処理はC言語では記述できない場合があります。この場合NC30では、C言語のソースプログラム中にアセンブリ言語を直接書き込むことができます（「インラインアセンブル機能」）。インラインアセンブルの方法は「asm関数」を使用する方法と、「" #pragma　ASM "」を使用する方法の２通りがあります。

この項では、それぞれの方法について説明します。

１行だけアセンブリ言語で記述する（asm 関数）

```
asm(" 文字列 ")
```

上記のように記述すると "（ダブルクォーテーション）で囲まれた文字列が、そのまま（スペース、タブも含めて）アセンブリ言語ソースプログラムに展開されます。

この記述は関数の内外問わず記述できるので、フラグやレジスタを直接操作したいときや高速な処理が必要なときに使用します。

記述例を図 2.3.10 に示します。

```
void    main ( void )
{
        initialize() ;
        asm("        FSET    I") ;
                :
}
```

割り込み許可フラグをセット

図 2.3.10　asm 関数の記述例

アセンブリ言語で自動変数をアクセスする（asm 関数）

関数内部において自動変数をアクセスしたいときは、"$$[FB]" を利用して図 2.3.11 のように記述します。すると、"$$" をコンパイラが FB レジスタのオフセット値に置き換えるため、C 言語での自動変数名をアセンブリ言語プログラムで使用できます。

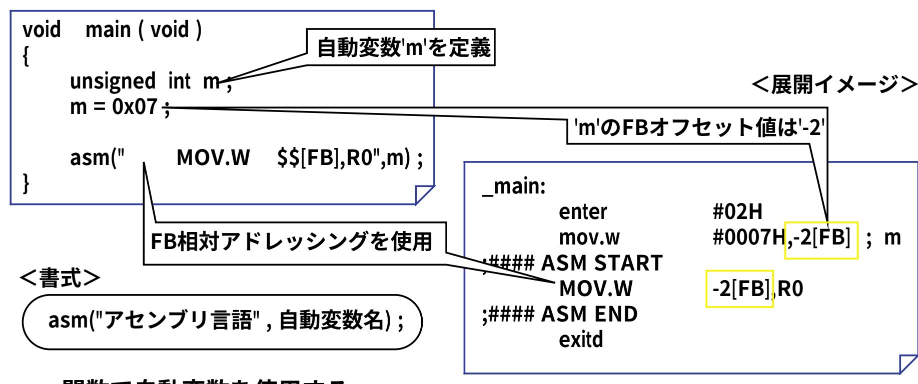


図 2.3.11　asm 関数で自動変数を使用する

モジュールごとアセンブリ言語で記述する（#pragma　ASM）

埋め込むアセンブリ言語が複数行にわたる場合、" #pragma　ASM " を使用します。この拡張機能では、" #pragma　ASM "～" #pragma　ENDASM "で囲まれた部分をアセンブリ言語で記述された領域と判断し、アセンブリ言語ソースプログラムにそのまま出力します。

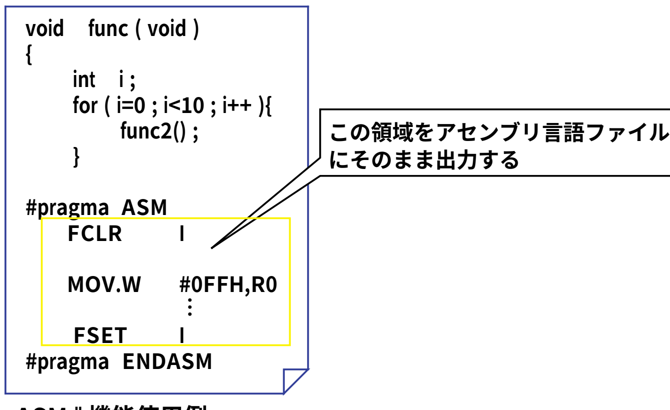


図 2.3.12　" #pragma　ASM " 機能使用例

コラム　asm 関数を利用した部分的な最適化の抑止

NC30 では起動オプション ' －O ' を付けると、コンパイル時に生成コードの最適化を行います。しかし、最適化によって割り込み発生時などに不具合が発生する場合、asm 関数を利用して部分的に最適化を抑止することができます。使用例を図 2.3.13 に示します。

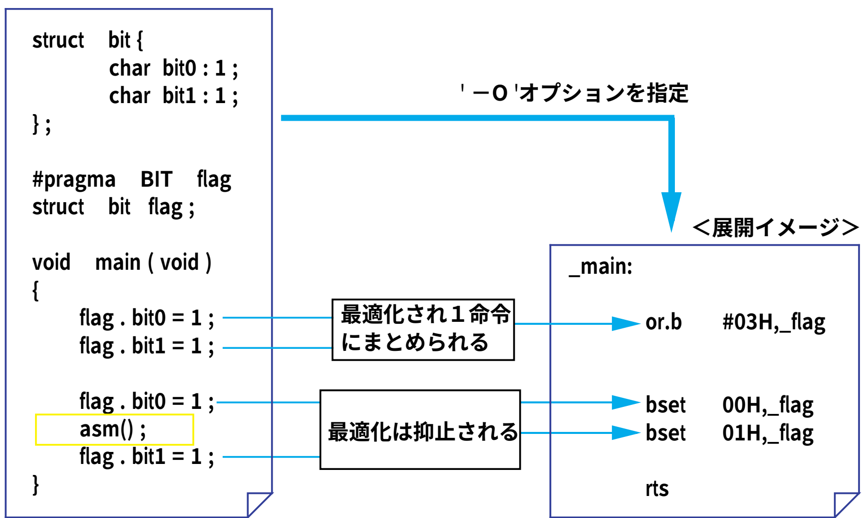


図 2.3.13　asm 関数を利用した部分的な最適化の抑止

2.4　アセンブリ言語とのリンク

2.4.1　関数間のインタフェース

モジュールサイズが小さい場合はインラインアセンブルで対応できます。しかし、モジュールサイズが大きい場合や、既存のモジュールを流用するとき、アセンブリ言語のサブルーチンをC言語プログラムから呼び出すことができます。また、その逆も可能です。

この項では、NC30 の関数間のインタフェースを説明します。

関数の入口処理と出口処理

NC30 での関数を呼び出す際の主な処理は次の 3 つです。

(1) スタックフレームの構築と解除
(2) 引数の受け渡し
(3) 戻り値の受け渡し

これらの動作の手順を図 2.4.1 に示します。

```
int   func ( int , int ) ;

void   main ( void )
{
    int   a = 3 , b = 5 ;
    int   c ;
          :
    c = func ( a , b ) ;
          :
}
```

```
int   func( int  x , int  y )
{
        :
}
```

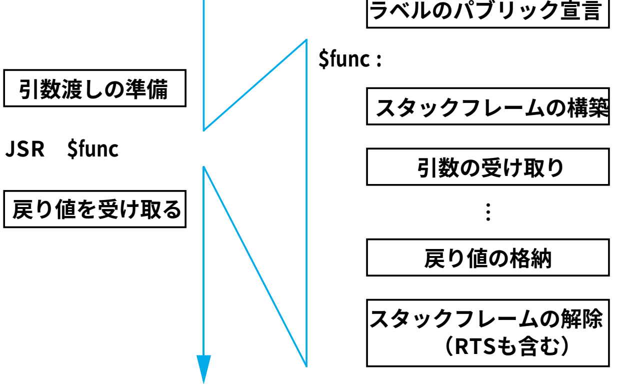


図 2.4.1　関数の呼び出し動作

スタックフレームの構成

関数呼び出しを行うと図 2.4.2のような領域がスタック上に構築されます。この領域を「スタックフレーム」と呼びます。

スタックフレームは関数からのリターン時には解放されます。

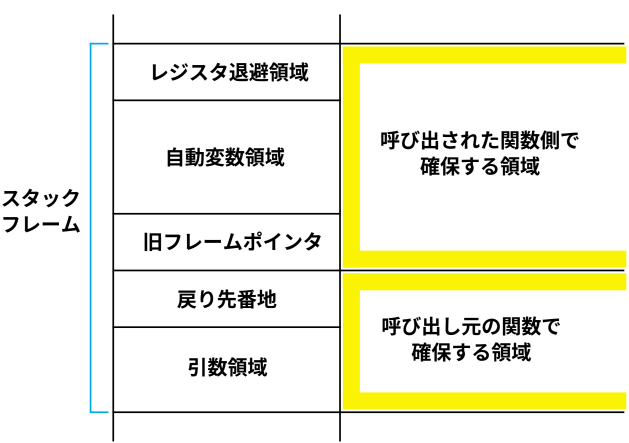


図 2.4.2　スタックフレームの構成

スタックフレームの構築

C 言語のプログラムの流れに沿って、スタックフレームが構築されていく様子を図 2.4.3 に示します。

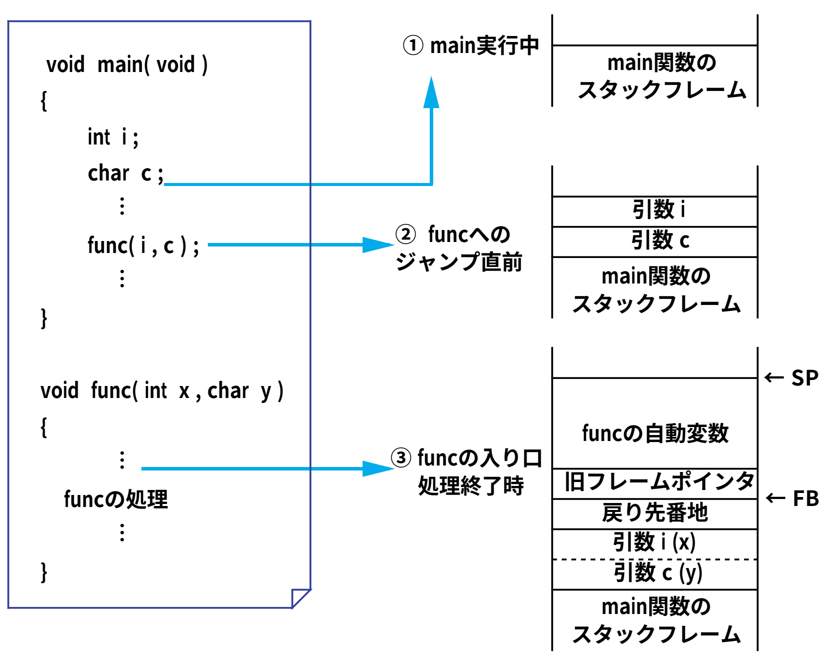


図 2.4.3　スタックフレームの構築

引数の引き渡し規則

NC30 では関数へ引数を渡す方法は「レジスタ渡し」と「スタック渡し」の２通りがあります。
次の３つの条件がそろうとレジスタ渡しになり、それ以外はスタック渡しになります。

(1) 関数の引数の型がプロトタイプ宣言されていること
(2) １つ以上の引数の型がレジスタに割り当て可能なこと
(3) プロトタイプ宣言の引数部分に省略形を使用していないこと

表 2.4.1　引数の引き渡し規則

引数の型	第１引数	第２引数	第３引数以降
char型	R1L	スタック	スタック
short、int型 nearポインタ型	R1	R2	スタック
その他の型	スタック	スタック	スタック

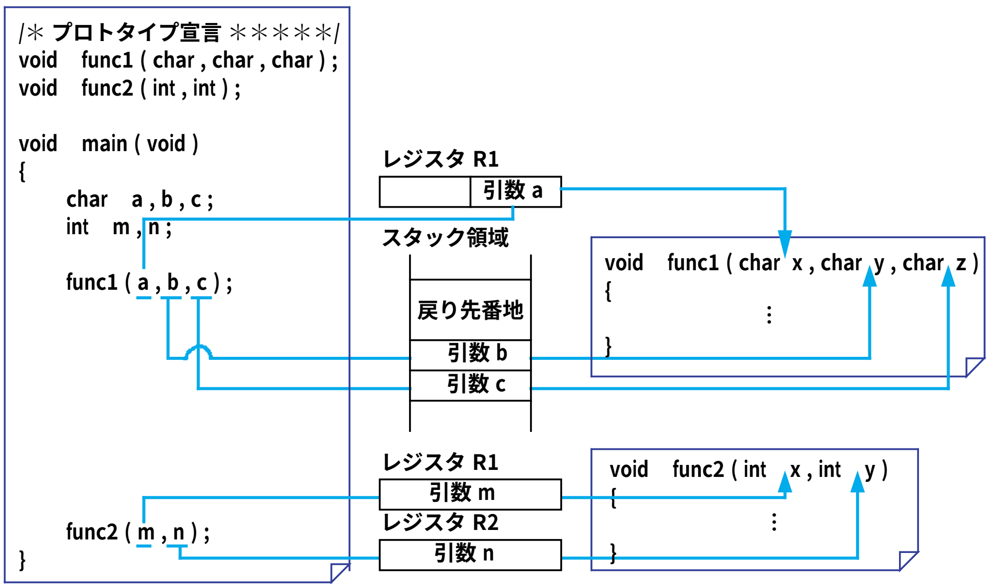


図 2.4.4　引数の引き渡し例

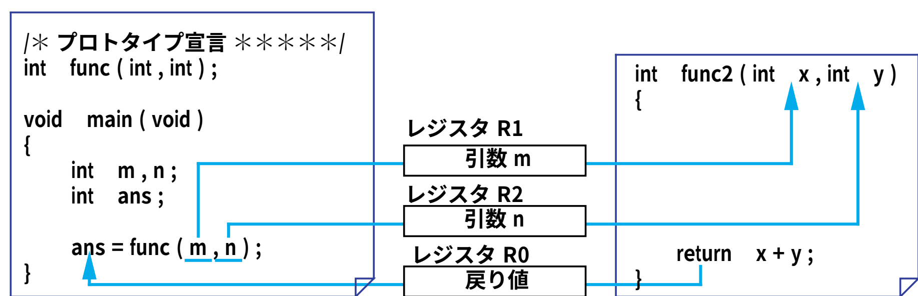
戻り値の引き渡し規則

戻り値は、構造体・共用体を除き、すべてレジスタに格納されます。ただし戻り値のデータ型によって格納されるレジスタが異なります。

構造体・共用体が戻り値の場合は「格納アドレススタック渡し」となります。つまり、関数呼び出し時に戻り値を格納する領域を用意し、そのアドレスを隠れた引数としてスタック渡しを行います。呼び出された関数側ではリターン時に、スタックに積まれたアドレスが示す領域に戻り値を書き込みます。

表 2.4.2　戻り値の引き渡し規則

データ型	返し方
char	R0L
int short	R0
long float	R2R0
double	R3R2R1R0
nearポインタ	R0
farポインタ	R2R0
struct union	格納アドレスをスタック渡し



・戻り値が構造体の時

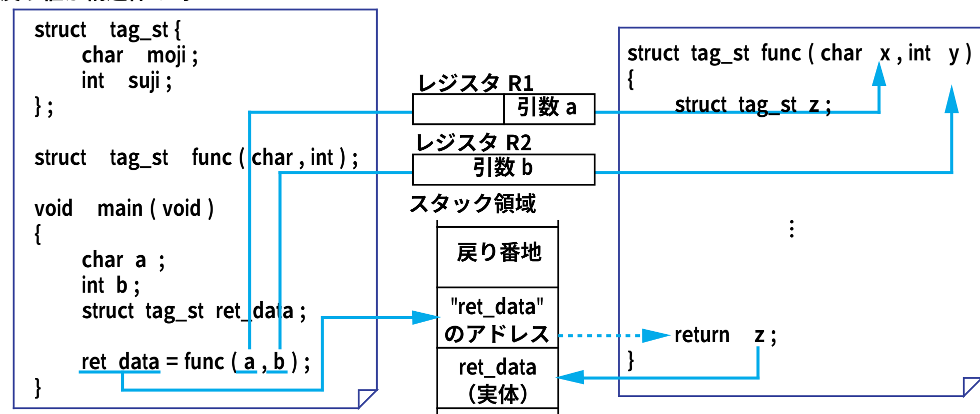


図 2.4.5　戻り値の引き渡し例

関数のアセンブリ言語へのシンボル変換規則

NC30 では関数の性質によって、変換されるシンボルが異なります。シンボル変換規則を表 2.4.3 に示します。

表 2.4.3　シンボル変換規則

関数の種類	変換方法
引数レジスタ渡し	関数の先頭に「$」を付加
引数スタック渡し 引数なし #pragma　INTERRUPT #pragma　PARAMETER	関数の先頭に「_」を付加

コラム　より速く関数を呼び出すためには

関数を呼び出す際には戻り値や引数の引き渡しなどでスタック操作が必要となり、実際の処理が行われるまでに時間がかかります。したがって、スタック操作の少ないレジスタ渡しの方が、呼び出しから処理までの時間が短くなります。

NC30 ではこの時間差をもっと短くするために「インライン記憶クラス」を用意しています。インライン記憶クラスを指定した関数は、コンパイル時にマクロ関数としてコード生成されます。このため通常のスタック操作が無く、呼び出し後すぐに処理プログラムを実行することができます。

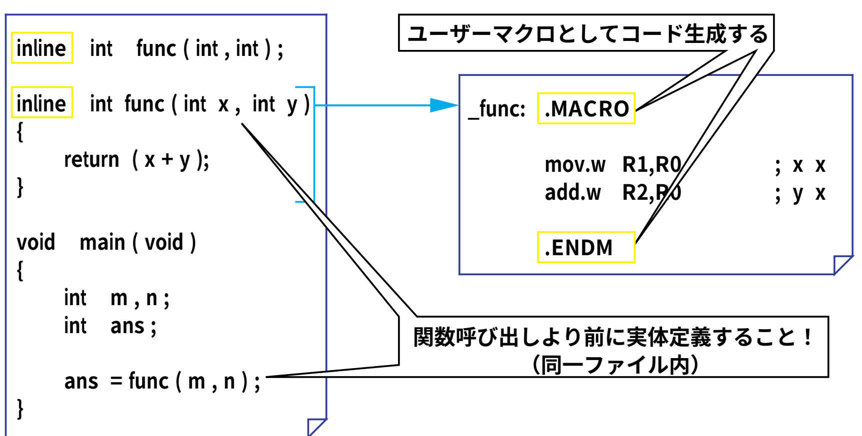


図 2.4.6　インライン記憶クラスの記述例

2.4.2　C 言語からのアセンブリ言語の呼び出し

この項では、アセンブリ言語のサブルーチンをC言語の関数として呼び出す具体的な記述方法について説明します。

アセンブリ言語へ引数を渡す（#pragma　PARAMETER）

#pragma　PARAMETER　関数名（レジスタ名,･･･）

上のように記述した関数は通常の引き渡し規則によらず、指定されたレジスタに引数をセットして呼び出し動作を行います。

この機能を利用すると引数渡しのスタック操作がないため、関数呼び出しの際のオーバーヘッドが小さくなります。ただし、この機能を使用するときには次のような注意が必要です。

(1) " #pragma　PARAMETER " を記述する前に指定関数のプロトタイプ宣言を行ってください。
(2) プロトタイプ宣言において以下の項目を守ってください。
- 関数の引数は必ず 8 ビット整数、16 ビット整数または 16 ビットポインタにしてください。
- 関数の戻り値として構造体、共用体は宣言できません。
- レジスタのサイズと引数のサイズを合わせてください。
- レジスタ名の大文字／小文字は区別しません。
- 本 #pragma で指定した関数の実体定義を C 言語で行った場合はエラーとなります。

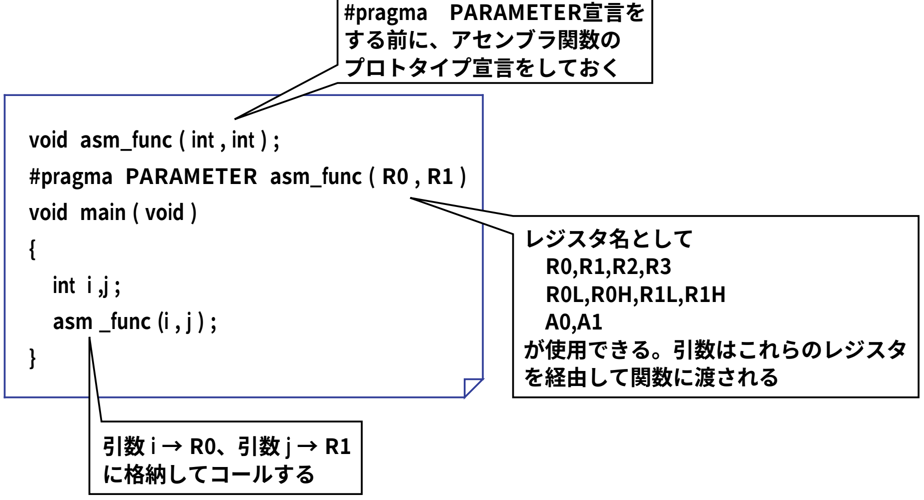


図 2.4.7　" #pragma　PARAMETER " の記述例

アセンブリ言語のサブルーチンを呼び出す

C 言語プログラムからアセンブリ言語のサブルーチンを呼び出すときは、以下の規則に従ってください。

(1) サブルーチンは C 言語プログラムとは別のファイルに記述します。
(2) サブルーチン名はシンボル変換規則に従ってください。
(3) 呼び出す側の C 言語プログラム中で、サブルーチンのプロトタイプ宣言を行います。このとき、記憶クラス指定子 " extern " で外部参照宣言を行います。

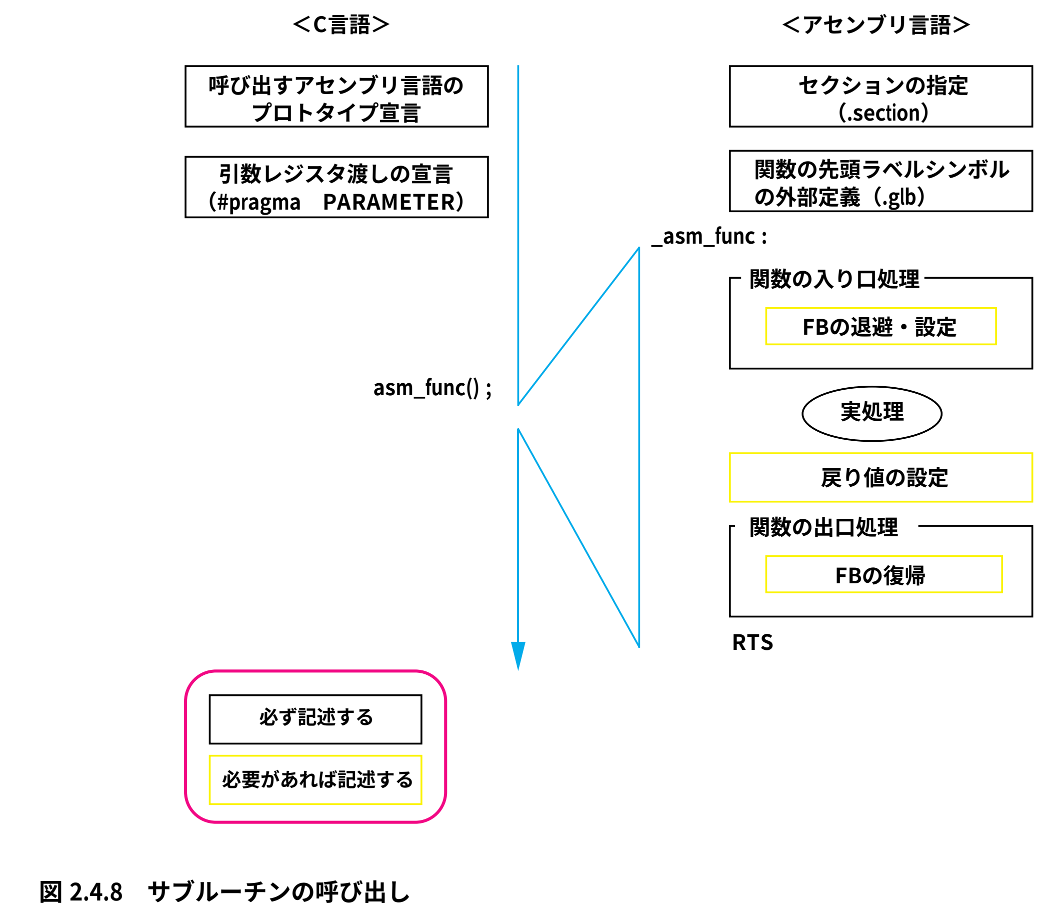
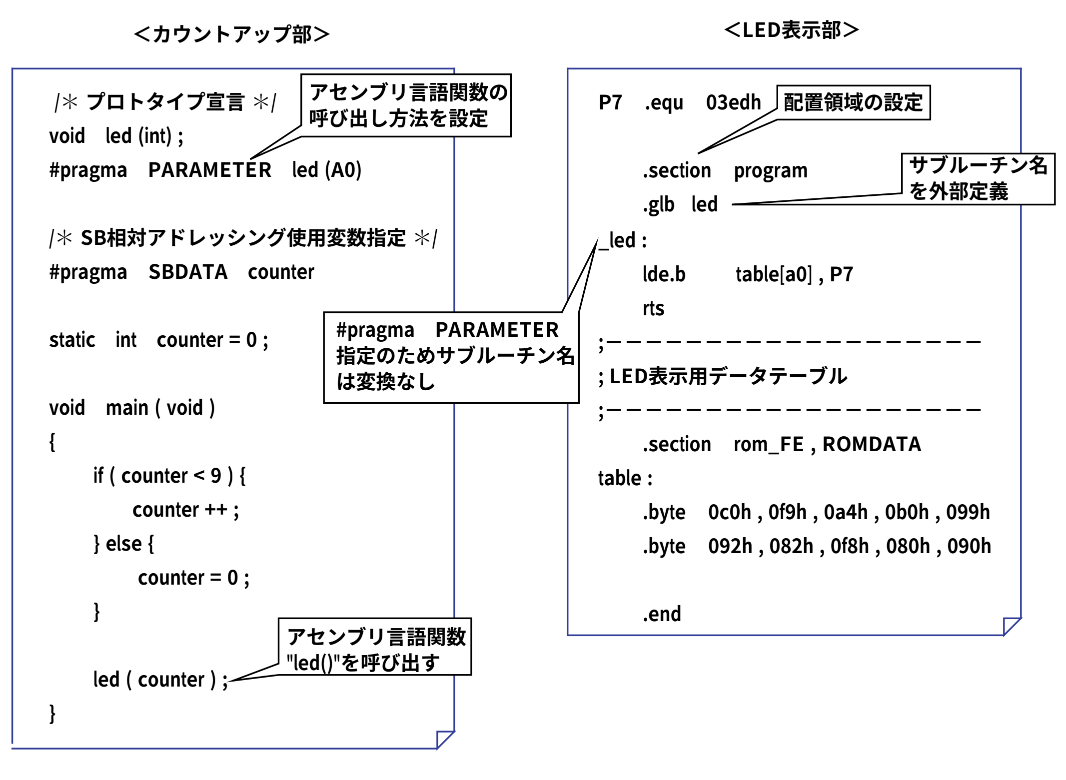


図 2.4.8　サブルーチンの呼び出し

例 2.4.1　サブルーチンを呼び出す

カウントアップした結果を LED に表示します。LED 表示部をアセンブリ言語で、カウントアップ部を C 言語で作成しリンクします。



例 2.4.1　サブルーチンを呼び出す

間接アドレッシングでサブルーチンを呼び出す

通常、C 言語からアセンブリ言語のサブルーチンを呼び出すときの命令は " jsr " が生成されます。" jsri " による間接アドレッシングを使用する場合は「関数ポインタ」を使用します。ただし、関数ポインタを使用した場合 " #pragma　PARAMETER " による引数引き渡しのレジスタ指定はできません。

記述例を図 2.4.9 に示します。

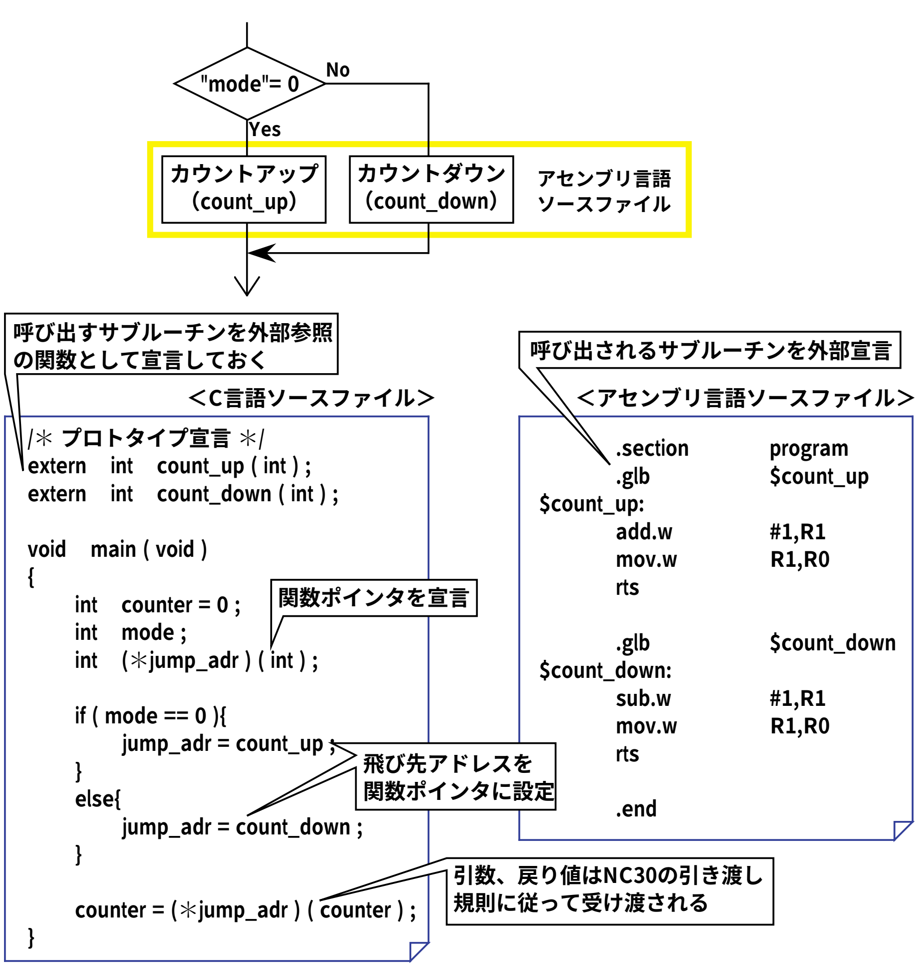
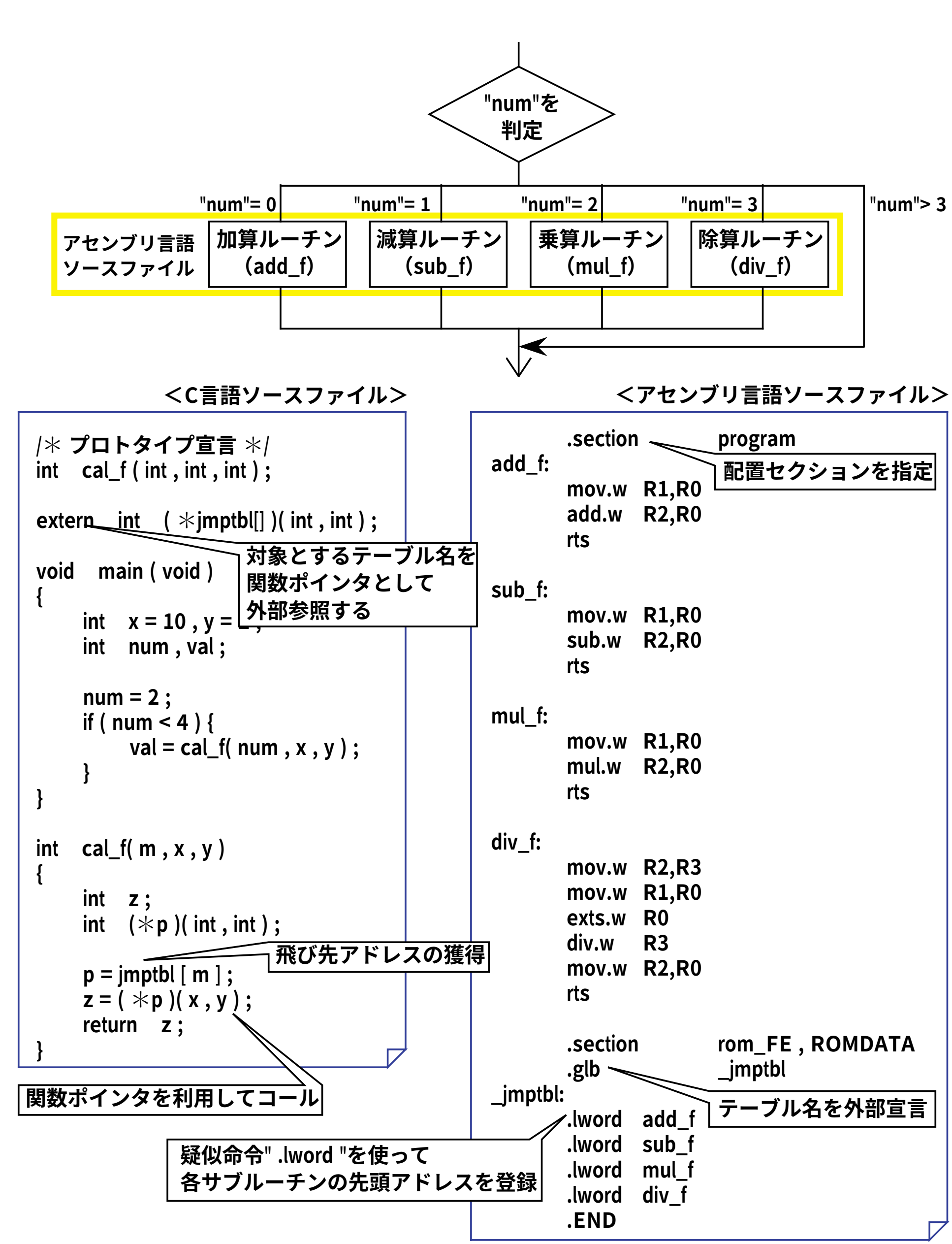


図 2.4.9　間接アドレッシングでサブルーチンを呼び出す

例 2.4.2　テーブルジャンプでサブルーチンを呼び出す

" num " の値に従って、異なるサブルーチンを C 言語プログラムから呼び出します。このように多数の分岐がある場合にテーブルジャンプを利用すると、どのサブルーチンでも同じ処理時間で呼び出すことができます。ただし " #pragma　PARAMETER " による引数渡しのレジスタ指定はできません



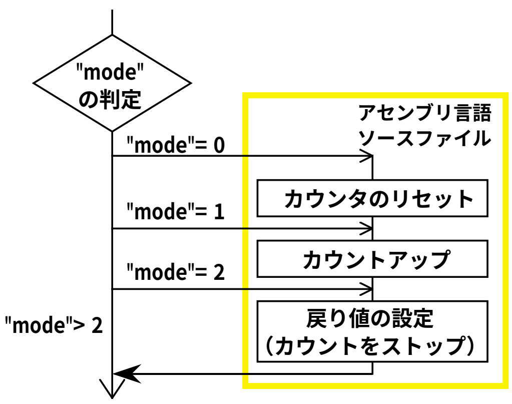

```
/* プロトタイプ宣言 */
int    cal_f ( int , int , int ) ;

extern    int    ( *jmptbl[] )( int , int ) ;

void    main ( void )
{
        int    x = 10 , y = 2 ;
        int    num , val ;

        num = 2 ;
        if ( num < 4 ) {
                val = cal_f( num , x , y ) ;
        }
}

int    cal_f( m , x , y )
{
        int    z ;
        int    (*p )( int , int ) ;

        p = jmptbl [ m ] ;
        z = ( *p )( x , y ) ;
        return    z ;
}
```

```
        .section    program
add_f:
        mov.w   R1,R0
        add.w   R2,R0
        rts

sub_f:
        mov.w   R1,R0
        sub.w   R2,R0
        rts

mul_f:
        mov.w   R1,R0
        mul.w   R2,R0
        rts

div_f:
        mov.w   R2,R3
        mov.w   R1,R0
        exts.w  R0
        div.w   R3
        mov.w   R2,R0
        rts

        .section    rom_FE , ROMDATA
        .glb        _jmptbl
_jmptbl:
        .lword  add_f
        .lword  sub_f
        .lword  mul_f
        .lword  div_f
        .END
```

例 2.4.2　テーブルジャンプでサブルーチンを呼び出す

例 2.4.3　少し変わったテーブルジャンプの使い方

サブルーチン内のラベルをジャンプテーブルに登録すると、サブルーチンの先頭アドレスをモードによって変えることができます。１つのサブルーチンで複数の処理を実現できるので ROM 容量の節約につながります。



＜C言語ソースファイル＞

```
/＊ プロトタイプ宣言 ＊/
int    clock ( int , int ) ;

extern  int ( ＊clock_mode [ ] ) ( int ) ;

void    main ( void )
{
        int    mode ;
        int    counter = 0 ;

        mode = 2 ;
        if ( mode < 3 ) {
                counter = clock( mode , counter ) ;
        }
}

int    clock( int  m , int  x )
{
        int    z ;
        int    ( ＊p ) ( int ) ;

        p = clock_mode [ m ] ;
        z = ( ＊p ) ( x ) ;
        return    z ;
}
```

＜アセンブリ言語ソースファイル＞

```
        .section        program
reset:
        mov.w   #0FFFFH,R1

count:
        add.w   #1,R1

stop:
        mov.w   R1,R0
        rts

        .section        rom_FE,ROMDATA
        .glb            _clock_mode
_clock_mode:
        .lword  reset
        .lword  count
        .lword  stop
        .END
```

サブルーチン内のラベルを
ジャンプテーブルに登録

例 2.4.3　少し変わったテーブルジャンプの使い方

2.4.3　アセンブリ言語からの C 言語の呼び出し

この項では、アセンブリ言語プログラムから C 言語の関数を呼び出す方法を説明します。

C 言語関数の呼び出し

アセンブリ言語から C 言語関数を呼び出すときには以下の規則に従ってください。

(1) 呼び出すサブルーチンのラベルは NC30 のシンボル変換規則に従ってください。
(2) C 言語関数はアセンブリ言語のプログラムとは別のファイルに記述してください。
(3)アセンブリ言語のファイルでは C 言語関数を呼び出す前に AS30 の疑似命令 " .glb " で　外部参照宣言をしてください。

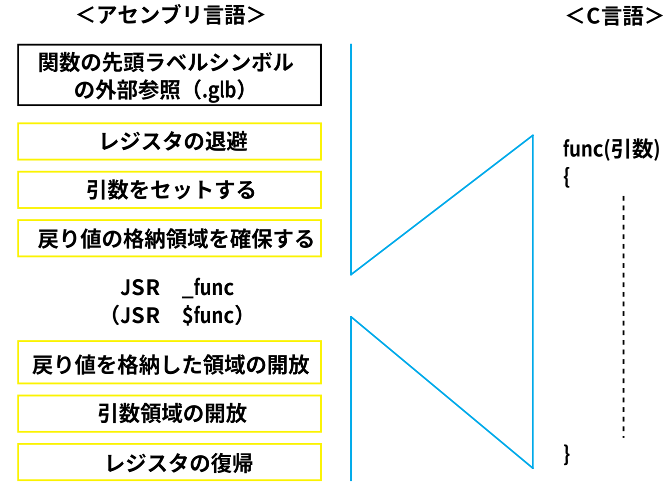


図 2.4.10　C 言語関数の呼び出し

2.5 割り込み処理

2.5.1 割り込み処理関数の記述

NC30 では割り込み処理を C 言語関数として記述することができます。手順は次の 2 つです。

(1) 割り込み処理関数の記述

(2) 割り込みベクタテーブルへの登録

この項では、割り込み処理の種類別に関数の記述方法を説明します。

ハードウェア割り込みの記述（#pragma INTERRUPT）

```
#pragma INTERRUPT 割り込み関数名
```

上のように宣言すると、指定した関数の入口と出口において、通常の関数の手続き以外に M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズの全レジスタの退避・復帰と reit 命令を生成します。割り込み処理関数の型は、引数／戻り値ともに void 型のみ有効です。それ以外の型を宣言した場合は、コンパイル時にワーニングを出力します。

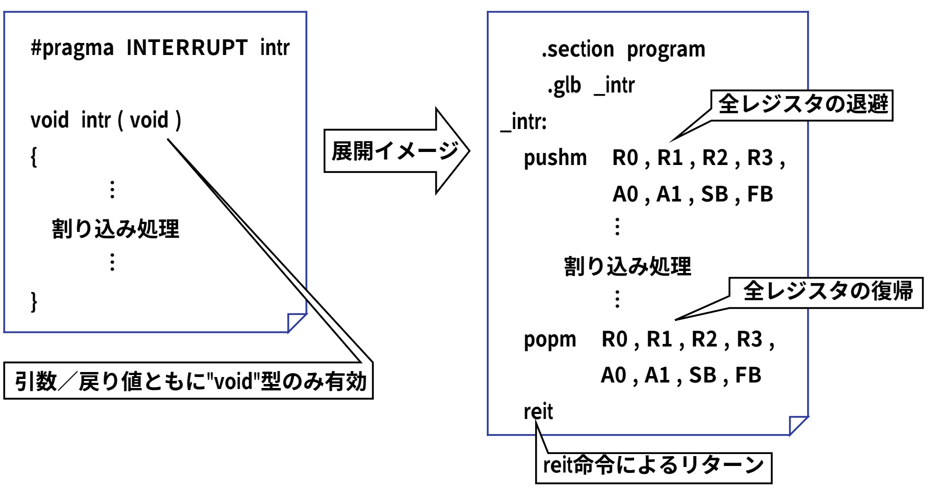


図 2.5.1 割り込み処理関数の展開イメージ

短時間での起動が必要な割り込みの記述（#pragma　INTERRUPT/B）

M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズではレジスタバンクを切り換えることによって、レジスタの内容などを保護しつつ割り込み処理が起動されるまでの時間を短縮することができます。この機能を使用したい場合は以下のように記述します。

```
#pragma　INTERRUPT/B　割り込み関数名
```

上のように記述するとレジスタ退避／復帰の命令の代わりに、レジスタバンクを切り換える命令が生成されます。ただし、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズのレジスタバンクはレジスタバンク０，１の２セットですので、指定できる割り込みはひとつです(注)。最も短時間での起動が必要な割り込みに対してこの機能を使用するようにしてください。

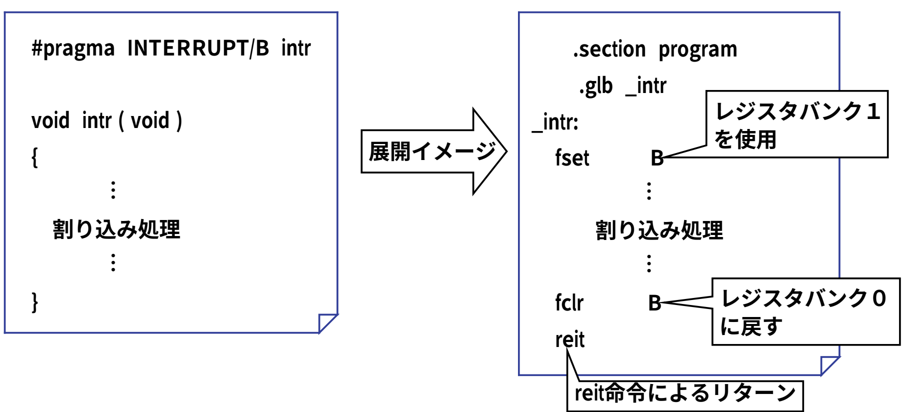


図 2.5.2　高速割り込み処理関数の展開イメージ

（注）　多重割り込みを使用しない場合はすべての割り込みで使用できます。

ソフトウェア割り込みの記述（#pragma　INTCALL）

M16C のソフトウェア割り込みを使用する場合は以下のように記述します。

```
#pragma　INTCALL　INT 番号　関数名
```

ソフトウェア割り込みではレジスタを経由して引数を渡すことができます。また構造体・共用体以外の戻り値を受け取ることができます。

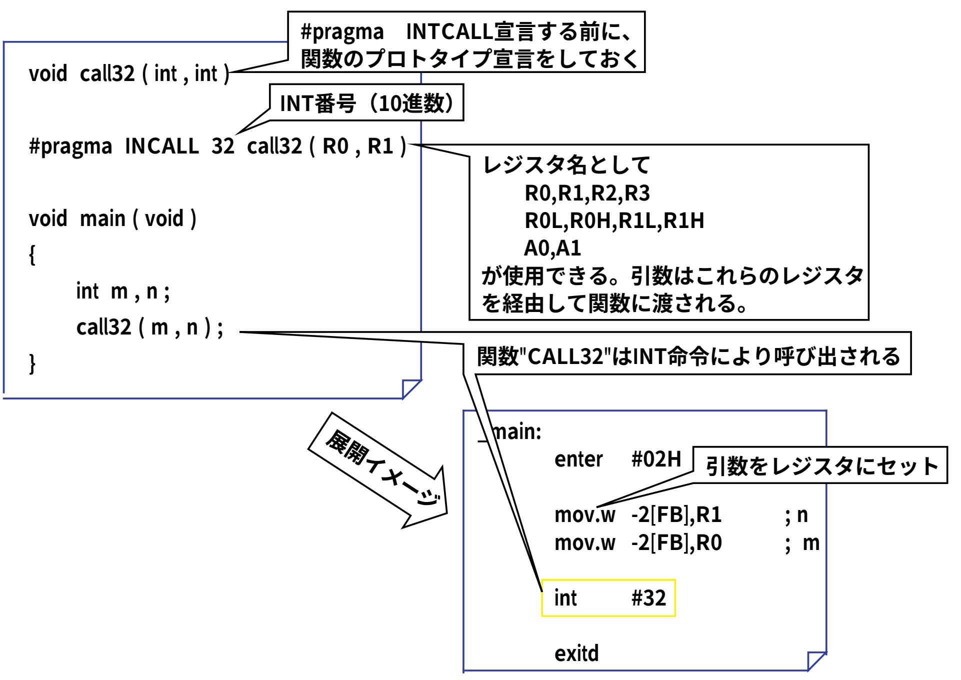


図 2.5.3　" #pragma　INTCALL " 記述例

2.5.2　割り込み処理関数を登録する

割り込みを正常に使用するためには､割り込み処理関数を記述するとともに割り込みベクタテーブルに登録する必要があります。

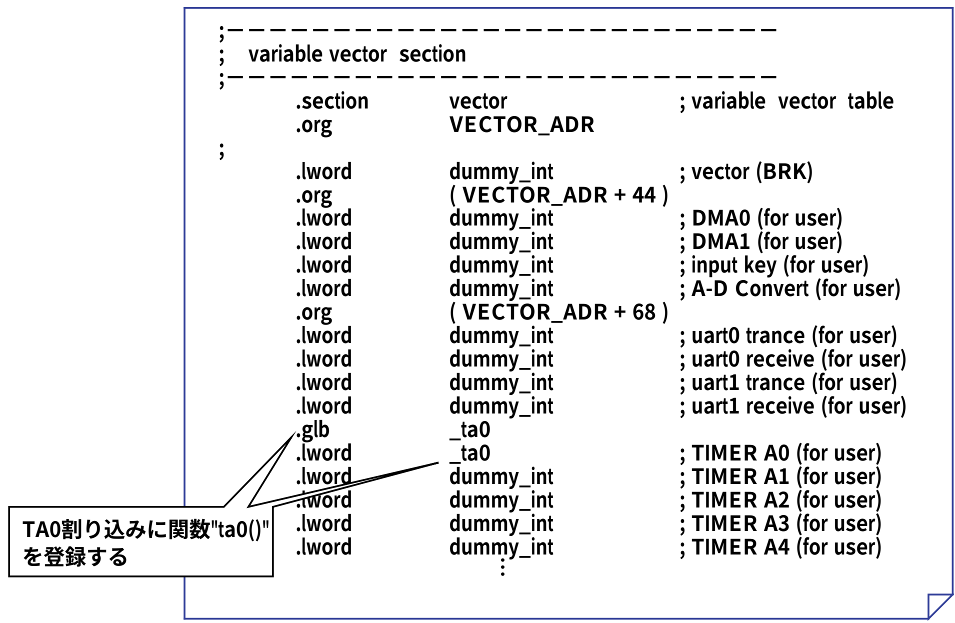
この項では、割り込みベクタテーブルへの登録方法を説明します。

割り込みベクタテーブルへの登録

割り込み処理関数を記述する場合、サンプルスタートアッププログラム " sect30.inc " 中の割り込みベクタテーブルを変更することにより、割り込み処理関数を登録します。

割り込みベクタテーブルの変更は以下の手順で行います。

(1) 割り込み処理関数名を疑似命令 " .glb " で外部定義する。
(2) 使用する割り込みのダミー関数名 " dummy_int " を、割り込み処理関数名に変更する。



```
;-------------------------------------------
;   variable vector  section
;-------------------------------------------
        .section        vector                  ; variable  vector  table
        .org            VECTOR_ADR
;
        .lword          dummy_int               ; vector (BRK)
        .org            ( VECTOR_ADR + 44 )
        .lword          dummy_int               ; DMA0 (for user)
        .lword          dummy_int               ; DMA1 (for user)
        .lword          dummy_int               ; input key (for user)
        .lword          dummy_int               ; A-D Convert (for user)
        .org            ( VECTOR_ADR + 68 )
        .lword          dummy_int               ; uart0 trance (for user)
        .lword          dummy_int               ; uart0 receive (for user)
        .lword          dummy_int               ; uart1 trance (for user)
        .lword          dummy_int               ; uart1 receive (for user)
        .glb            _ta0
        .lword          _ta0                    ; TIMER A0 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A1 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A2 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A3 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A4 (for user)
                            :
```


図 2.5.4　割り込みベクタテーブル（" sect30.inc "）

2.5.3　割り込み処理関数の記述例

この項では、INT0割り込みが発生するたびに" counter "の内容をカウントアップさせるプログラムの記述例を示します。

割り込み処理関数の記述

図 2.5.5 にソースファイルの記述例を示します。

```
/＊ プロトタイプ宣言 ＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊/
void  int0 ( void ) ;
#pragma   INTERRUPT   int0
/＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊/

unsigned   int   counter = 0 ;

void  int0 ( void )                    /＊ 割り込み関数 ＊/
{
        if ( counter < 9 ) {

                counter ++ ;
        }
        else {
                counter = 0 ;
        }
}

void  main ( void )
{
        INT0IC = 1 ;                   /＊ 割り込みレベルの設定 ＊/

        asm ( " fset     i " ) ;       /＊ 割り込み許可 ＊/

        while (1) ;                    /＊ 割り込み待ちループ ＊/
}
```

図 2.5.5　割り込み処理関数の記述例

割り込みベクタテーブルへの登録

図 2.5.6 に割り込みベクタテーブルへの登録例を示します。

```
;------------------------------------------------------
;       variable   vector   section
;------------------------------------------------------
        .section        vector                  ; variable vector table
        .org            VECTOR_ADR
                            :
        .org            ( VECTOR_ADR + 68 )
        .lword          dummy_int               ; UART0 trance (for user)
        .lword          dummy_int               ; UART0 receive (for user)
        .lword          dummy_int               ; UART1 trance (for user)
        .lword          dummy_int               ; UART1 receive (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A0 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A1 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A2 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A3 (for user)
        .lword          dummy_int               ; TIMER A4 (for user) (vector 25)
        .lword          dummy_int               ; TIMER B0 (for user) (vector 26)
        .lword          dummy_int               ; TIMER B1 (for user) (vector 27)
        .lword          dummy_int               ; TIMER B2 (for user) (vector 28)
        .glb            _int0
        .lword          _int0                   ; INT0 (for user) (vector 29)
        .lword          dummy_int               ; INT1 (for user) (vector 30)
        .lword          dummy_int               ; INT2 (for user) (vector 28)

                            :
```

図 2.5.6　割り込みベクタテーブルへの登録例

第　3　章

リアルタイム OS（MR30）の使用

3.1　リアルタイム OS の基礎
3.2　システムコールの利用法
3.3　MR30 を用いた開発手順
3.4　NC30 を用いた MR30 の組み込み

この章では、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズ用リアルタイム OS（MR30）の概略機能について説明するとともに、NC30 を用いてリアルタイム OS を使用するための注意事項について説明します。

3.1　リアルタイム OS の基礎

3.1.1　リアルタイム OS とタスク

リアルタイム OS を用いたプログラムは、タスク単位に構成します。
この項では、リアルタイム OS（MR30）でのタスクの取り扱いについて説明します。

タスクによるプログラムの構成

タスクとは、機能、処理時間などの単位で分けられたプログラムモジュールです。1つのタスクが１関数となる場合もありますが、１つのタスクが複数の関数から構成される場合もあります。

MR30 では、これらのタスク管理を、タスクごとに異なる番号「ID」を用いて行います。タスクの ID は任意に設定できます。

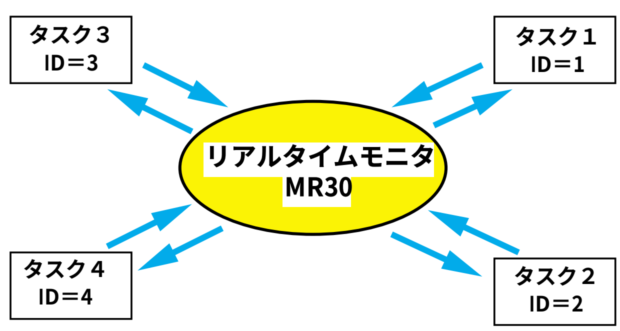


図 3.1.1　プログラムの複数タスクによる構成図

タスクのスタイル

タスクは、表 3.1.1 に示す３つのうち、いずれかのスタイルをとります。

表 3.1.1　タスクのスタイル

① 終了するスタイル	② ある条件で終了するスタイル	③ 無限ループスタイル

void　task1 (void)
{
:
:
:
:
:
}
	void　task2 (void)
	{
	for (; ;) {
	if ( ) {
	break ;
	}
	}
	}
		void　task3 (void)
		{
		for (; ;) {
		:
		:
		:
		}
		}

タスクの状態

タスクはすべてリアルタイムOSに管理されます。リアルタイムOSは、各タスクからの要求である「システムコール」をもとに、実行するタスクを決定します。そして、各タスクの状態もリアルタイムOSが管理します。

図3.1.2にMR30におけるタスクの状態について示します。

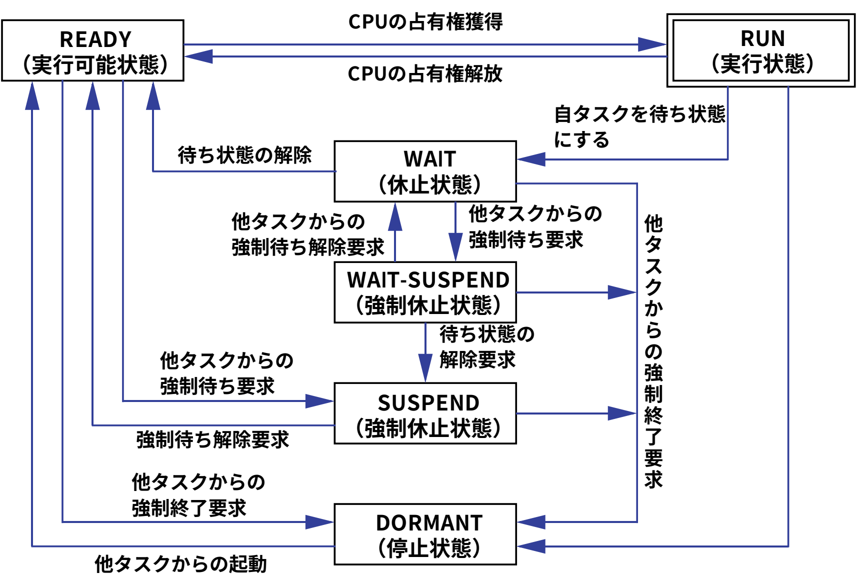


図 3.1.2　各タスク状態 (遷移図含む)

この状態の中で「RUN」、「READY」、「WAIT」の3つの状態は特に重要です。

RUN　：タスク内の処理を実行できる状態を示します。このRUN状態となるタスクは1つだけです。
READY：RUN状態になることを待っているタスクの状態を示します。RUN状態の タスクが別の状態に変わることにより、READY状態の中の1タスクが次にRUN状態になります。
WAIT　：RUN状態のタスクがある要因によって処理を休止した状態を示します。RUN状態のタスクが休止するとリアルタイムOSは、READY状態のタスクのうち1つをRUN状態にします。

タスクの状態の切り換わり

タスクの状態が切り換わるイベントは次の３つです。

・RUN タスクがシステムコールを発行した場合
・割り込みプログラム内でシステムコールを発行した場合
・リアルタイム OS が持つ割り込みプログラム内でシステムコールを発行した場合

このようにシステムコールを発行することによりタスクの状態が切り替わり、RUN状態のタスクが次々と変更されていきます。そしてリアルタイム OS は、プログラム内で待ち時間が発生した場合に、待ちに関係のない別の処理を実行します。

コラム　MR30 と μ ITRON 仕様（注）

MR30 は、「μ ITRON 仕様」に準拠したリアルタイム OS です。μ ITRON 仕様とは、リアルタイム OS のうち、マイクロコンピュータ制御用のリアルタイム OS に関する標準規格です。主な仕様の項目を以下に示します。

１．システムコールの名称の統一
２．タスクの状態定義（RUN、WAIT、READY 状態は必須）

（注）　μ ITRON 仕様の著作権は、東京大学坂村健博士に属します。

3.1.2 リアルタイム OS の機能

リアルタイム OS の主な機能は「タスクのスケジューリング」、「タスクのディスパッチ」、「オブジェクトの管理」の３つです。
この項では、これらの機能について説明します。

タスクのスケジューリング

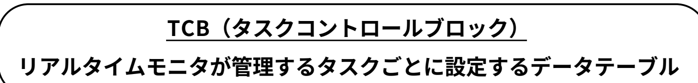
あるシステムの中で、READY 状態のタスクは1つとは限りません。しかし、RUN 状態のタスクは唯一です。そのためリアルタイム OS は、READY 状態にあるタスクの中から、次にどのタスクを RUN 状態にするのかを選択しなければなりません。この選択方式のことを「スケジューリング」といいます。スケジューリング方式はいくつかありますが、MR30 では「優先度方式」を用いています。

優先度方式：タスクにある優先度を付け（重み付け)、優先度の高いものを先に
RUN 状態にします。また同じ優先度を持つタスクが存在する場合は、
先に READY 状態になったタスクが優先されます。

タスクの優先度はユーザが任意に設定するものであり、リアルタイム OS が設定するものではありません。この優先度の決定がリアルタイム OS を使用する上で最も重要なポイントになります。

コンテキストとタスクコントロールブロック（TCB）

リアルタイム OS が READY 状態にあるタスクを RUN 状態にすることを「ディスパッチ」といいます。このディスパッチを行う場合、RUN 状態のタスクは中断することになります。
そのためタスクの資源（各レジスタの内容など）をどこかに保存しておく必要があります。このタスクの資源のことを「コンテキスト」といいます。コンテキスト管理のためにリアルタイム OS は、設定するタスクの数だけ「TCB(タスクコントロールブロック)」を用意します。



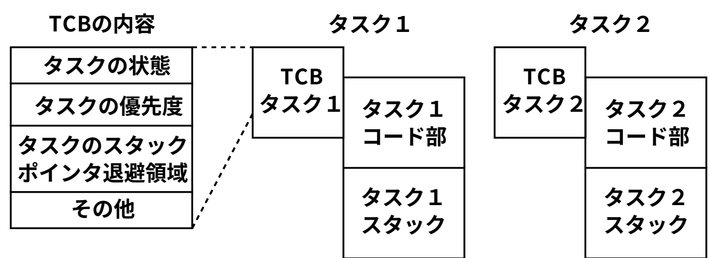


図 3.1.3 "TCB" の主な構造

タスクのディスパッチ

ディスパッチの流れを次に示します。

1. ディスパッチ発生
2. RUN 状態のタスクのコンテキストをスタックに退避
3. 現在のスタックポインタを TCB 内の領域に退避
4. 次に RUN 状態にするタスクの ID を確認
5. ID をもとに次に RUN 状態にするタスクの TCB からスタックポインタを確保
6. スタックからコンテキストを確保
7. スタックポインタをもとにリターンする（RUN 状態のタスクに切り替わる）

オブジェクトの種類

システムコールを用いて操作できる対象を「オブジェクト」といいます。タスク自身もシステムコールによって操作できますので、オブジェクトの一部です。表 3.1.2 に MR30 が用意している、タスク以外のオブジェクトについて示します。

表 3.1.2　MR30 のオブジェクト

オブジェクト名	機能
イベントフラグ	タスク間で同期をとるために用います。ビットごとの設定が可能です。（１ワード長）
セマフォ	タスク間で同期をとるために用います。主にタスク間での排他制御に使用します。セマフォは、セマフォカウンタをもとに排他制御を行います。
メイルボックス	タスク間での通信（データの受け渡し）を行うために用います。メイルボックスには、１ワード長のデータもしくは、データブロックのアドレスを送受信できます。

オブジェクトではありませんが、TCB 内部にタスク間での同期をとるためのカウンタが用意されます。また、各オブジェクトはタスク同様、任意の番号 " ID " によって管理されます。ID はユーザが任意の値を設定します。

コラム　スケジューリング方式あれこれ

スケジューリング方式には、優先度方式のほかに以下のものがあります。

・FCFS 方式(First Come First Service)
　　― READY 状態になった順番にタスクが RUN 状態に切り換わる方式です。

・ラウンドロビン方式― FCFS 方式と同様に順番に RUN 状態に切り替わります。この方式では、一定時間ごとに強制的に RUN 状態のタスクがリアルタイム OS によって切り換えられます。

オブジェクトの管理

リアルタイム OS ではシステムコールを使ってオブジェクトの管理を行います。
表 3.1.3 に、タスクおよび各オブジェクトを操作するためのシステムコールと機能を示します。

表 3.1.3　オブジェクト操作のための主なシステムコール

分　類	オブジェクト	システムコール	機　　能
タスク管理	タスク	sta_tsk()	タスクを起動（READY状態）します。
		ext_tsk()	自タスクを正常終了（DORMANT状態）します。
タスク付属同期	タスク	slp_tsk()	自タスクをWAIT状態にします。
		wup_tsk()	WAITタスクをREADY状態にします。
同期・通信	イベントフラグ	set_flg()	イベントフラグをセットします。イベントフラグを待っているタスクがあればそのタスクを起動（READY状態）します。
		wai_flg()	イベントフラグを待ち（WAIT状態）ます。すでにイベントフラグがセットされている場合は処理を続けます。
	セマフォ	sig_sem()	セマフォを解放します（セマフォカウンタを+1します）。セマフォを待っているタスクがある場合は、そのタスクを起動（READY状態）します。その場合、セマフォは変化しません。
		wai_sem()	セマフォカウンタがすでに０の場合、待ち（WAIT状態）ます。０以外の場合はセマフォカウンタを－1し、処理を続けます。
	メイルボックス	snd_msg()	メッセージをメイルボックスに送信します。メッセージを待っているタスクがあればそのタスクを起動（READY状態）にし、メッセージを渡します。待っているタスクがない場合、メッセージはメイルボックス内に保管されます。
		rcv_msg()	メイルボックスからメッセージを受信します。メッセージがない場合は、待ち（WAIT状態）ます。メッセージがすでにある場合は、メッセージを受け取り、処理を続けます。

3.1.3　割り込み管理

MR30 では、割り込みプログラムを「割り込みハンドラ」と呼びます。
この項では、MR30の割り込みハンドラの種類と、割り込みハンドラの１つである「OS依存割り込みハンドラ」の管理方法を説明します。

割り込みハンドラの種類

MR30では割り込みハンドラを、内部でシステムコールを使用するか、使用しないかによって区別しています。前者を「OS 依存割り込みハンドラ」、後者を「OS 独立割り込みハンドラ」と呼びます。この項では OS 依存割り込みハンドラについて説明します。

表 3.1.4　割り込みハンドラの種類

割り込みハンドラ	意味
OS依存割り込みハンドラ	MR30の持つシステムコールを使用する割り込みハンドラです。 割り込みプログラムと異なり、システムコールを使用するための処理が必要になります。
OS独立割り込みハンドラ	MR30のシステムコールを使用しない割り込みハンドラです。 割り込みプログラムと同じ動作をします。

OS 依存割り込みハンドラ

OS 依存割り込みハンドラはタスクとは異なり、ディスパッチやスケジューリングの対象とはなりませんのでTCB は作成されません。
OS 依存割り込みハンドラの処理手順は、以下の通りです。

1. レジスタの退避
2. ハンドラの処理（システムコール使用）
3. レジスタの復帰
4. OS 依存割り込みハンドラ終了システムコール " ret_int "

＊）OS依存割り込みハンドラの終了時にはOS依存割り込みハンドラ終了用システムコールを用います。
このシステムコール内でスケジューリング、ディスパッチが行われます。
OS依存割り込みハンドラ終了時にディスパッチが行われるため、ハンドラ終了後RUN状態になるタスクは、割り込み発生時に RUN 状態にあったタスクと同じとは限りません。

OS 依存割り込みハンドラの実行

図 3.1.4 に OS 依存割り込みハンドラの実行状況をシステムコールによる起動と比較して示します。

<システムコールによる起動>

タスク１
RTM
タスク２
レジスタ退避
スタック切り換え
システムコール
発行
システムコール
処理
実行タスク
切り換え
スタック切り換え
レジスタ復帰

<ハンドラからの起動>

ハンドラ
RTM
タスク
レジスタ退避
システムコール(注)
発行
タスク待ち解除
レジスタ復帰
ハンドラ終了
システムコール
実行タスク切り換え
ディスパッチ

RTM：「リアルタイムモニタ」の略

図 3.1.4　タスク実行時の OS 依存割り込みハンドラの実行

（注）　割り込みハンドラ内で使用できるシステムコールは限られています。必ず割り込みハンドラでの使用が可能なシステムコールを使用してください。

多重割り込み管理

割り込みは、多重(OS依存割り込みハンドラ実行時に割り込み許可レベルの高い割り込み発生)に起こる場合があります。

図 3.1.5 に多重割り込みの場合の OS 依存割り込みハンドラの動作を示します。

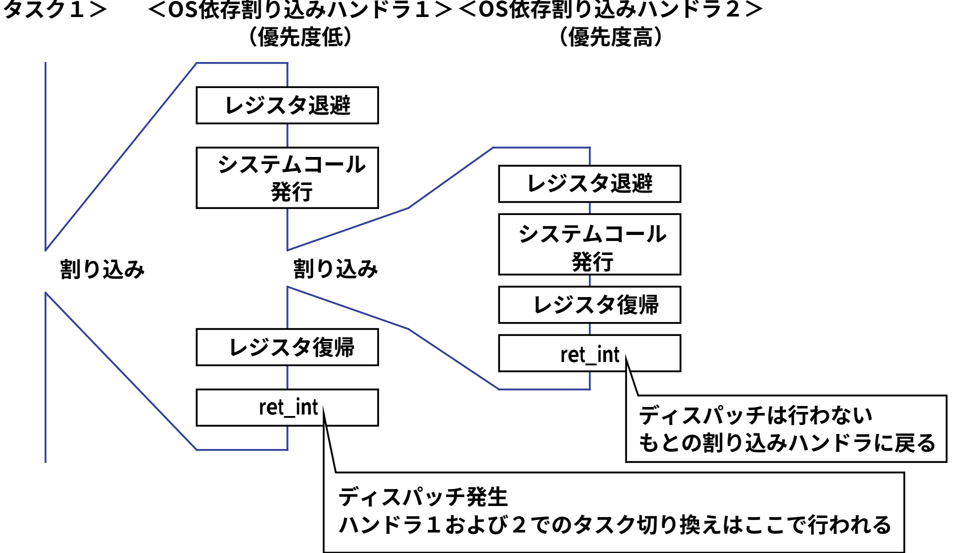


図 3.1.5　多重割り込みでの OS 依存割り込みハンドラの実行

多重割り込みが発生した場合、高い割り込みレベルによって起動した OS 依存割り込みハンドラ内のシステムコール " ret_int " は、ディスパッチを行いません。これは、OS 依存割り込みハンドラの処理をすべて終了してからタスクに戻る必要があるためです。

3.1.4　特殊なハンドラ

ハンドラには、割り込みハンドラのほかリアルタイム OS の持つ機能を利用したものがあります。
この項では、割り込みハンドラ以外の特殊なハンドラについて説明します。

システムクロック割り込みハンドラ

システムクロック割り込みハンドラはリアルタイム OS が用意するハンドラです。ハードウェアタイマ１本を「システムクロック」として占有して時間管理を行います。

表 3.1.5　リアルタイム OS が用意する割り込みハンドラ

ハンドラ名	機能	備考
システムクロック割り込みハンドラ	リアルタイムモニタが用意するタイマ割り込み用のハンドラです。使用するタイマは、任意に指定します。時間管理機能を用いる場合は必要となります。	タイマを１本占有します。また使用不可とすることもできます。

システムクロック割り込みハンドラの周期時間（タイマ割り込み発生周期）は、任意に設定できます。

特殊なハンドラ

表 3.1.6 に示すハンドラはすべて、システムクロック割り込みハンドラの一部として呼び出されます。そのため、これらのハンドラ内ではシステムコールを使用できます。

表 3.1.6　特殊なハンドラ

ハンドラ名	機能	備考
周期起動ハンドラ	設定した時間ごとにシステムクロック割り込みハンドラ内から起動します。システムクロック割り込みハンドラの一部として動作しますのでサブルーチン形式となります。	ユーザが用意します。
アラームハンドラ	設定した時間に１度だけシステムクロック割り込みハンドラ内から起動します。システムクロック割り込みハンドラの一部として動作しますのでサブルーチン形式となります。	ユーザが用意します。

3.2　システムコールの利用法

3.2.1　MR30 のシステムコール

この項では、リアルタイム OS を利用する上で必要となるシステムコールについて、MR30 の提供形式と、システムへの組み込まれ方を説明します。

MR30 の提供形式

MR30は、ライブラリ形式として提供されます。ライブラリとして提供されるということはリンク時にのみ、このライブラリが組み込まれることを意味します。

また、MR30 を構成する各システムコールはライブラリのモジュールとなります。

図 3.2.1 に MR30 が提供するシステムコールライブラリを示します。

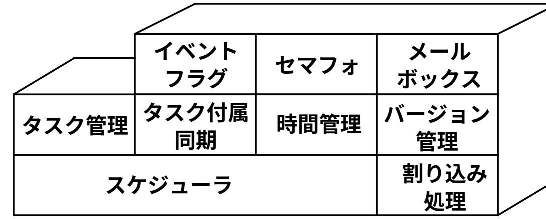


図 3.2.1　MR30 が提供するシステムコールライブラリ

システムへの組み込まれ方

MR30 は、各システムコールをライブラリ化したものです。そのためシステム全体をリンクするときには、プログラム内に記述したシステムコールだけが組み込まれます。MR30 すべてが組み込まれることはありません。

また、各システムコールはプログラムから見た場合、すべて外部関数として扱われます（MR30 が用意する関数となります）。

3.2.2　システムコールの記述方法

この項では、C 言語を用いてリアルタイム OS を使用する上でのシステムコールの記述方法を説明します。

基本的なシステムコールの記述方法

システムコールはすべて関数として扱われます。ですから、プログラム内でシステムコールを利用する方法は、通常の関数呼び出しと同じです。

```
#include    <mr30.h>
void  task1 ( void )
{
        slp_tsk();
}
```

MR30を利用する上で必要となるインクルードファイル（#include <mr30.h>）
自タスクをWAIT状態にする（slp_tsk();）

図 3.2.2　システムコールの記述

システムコールのパラメータ

システムコールへのパラメータは、関数の引数として記述します。

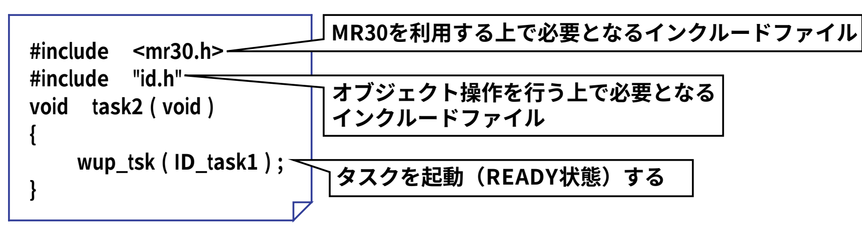


図 3.2.3　パラメータを持つシステムコールの記述

オブジェクトの指定

MR30でオブジェクト操作を行うシステムコールを利用する場合、オブジェクトのIDを指定します。ただし、MR30ではこのIDをオブジェクト名を利用して視覚的にわかりやすく表現できます。

IDを数値のみで指定することも可能ですが、プログラムの可読性をよくするためには、この指定方法を推奨します。

ID の指定方法 -- ID_[オブジェクト名]
→オブジェクト名は任意に設定します。

システムコールのエラーコード

システムコールの戻り値がすべてシステムコールのエラーコードとなっています。このエラーコードも特定の文字列を使用して判別できます。

表 3.2.1 にエラーコード一覧を示します。

表 3.2.1　エラーコード一覧 (注)

文字列	意味
E_OK	正常終了
E_OBJ	オブジェクトの状態が不正
E_QOVR	キューイングまたはネストのオーバーフロー
E_TMOUT	ポーリング失敗またはタイムアウト
E_RLWAI	待ち状態強制解除

このエラーコードを用いて、システムコールを利用した後の処理を選択することができます。利用例を図 3.2.4 に示します。

```
#include   < mr30.h >
void   task1 ( void )
{
      ER   err_code ;

      err_code = slp_tsk ( ) ;

      if ( err_code ! = E_OK ) {
            ext_tsk ( ) ;
      }
}
```

MR30を利用する上で必要となるインクルードファイル

MR30では,システムコールに関するデータ型について
任意の文字で定義している

自タスクをWAIT状態にする

WAIT解除後にエラーコードを判定

slp_tsk()のエラーコードは,
E_OK
E_RLWAIとなる

図 3.2.4　エラーコードの利用

（注）システムコールによって使用できるエラーコードは異なります。

コラム　定義されている文字列

MR30では、システムコールのパラメータに関するデータ型や特定のデータ型について文字列を定義しています。この文字列はμ ITRON 仕様のリアルタイム OS 同士の互換性をとるために統一されています。

表 3.2.2　データタイプと文字

特定データ					
符号付き8ビット整数	B	符号付き16ビット整数	H	符号付き32ビット整数	W
符号なし8ビット整数	UB	符号なし16ビット整数	UH	符号なし32ビット整数	UW
データタイプが一致しないものへのポインタ	＊VP				
パラメータデー＊					
オブジェクトID	ID	エラーコード	ER	タスク優先度	PRI

3.3　MR30 を用いた開発手順

3.3.1　開発時に必要なファイル

MR30 を使用してプログラムを開発する場合、プログラムの他に「スタートアッププログラム」、「オブジェクト定義ファイル」が必要です。
この項では、それぞれのファイルの内容について説明します。

MR30 用スタートアッププログラム

スタートアッププログラムの必要性は「2.2　スタートアッププログラム」で説明しています。ここではMR30用スタートアッププログラムについて簡単に説明します.

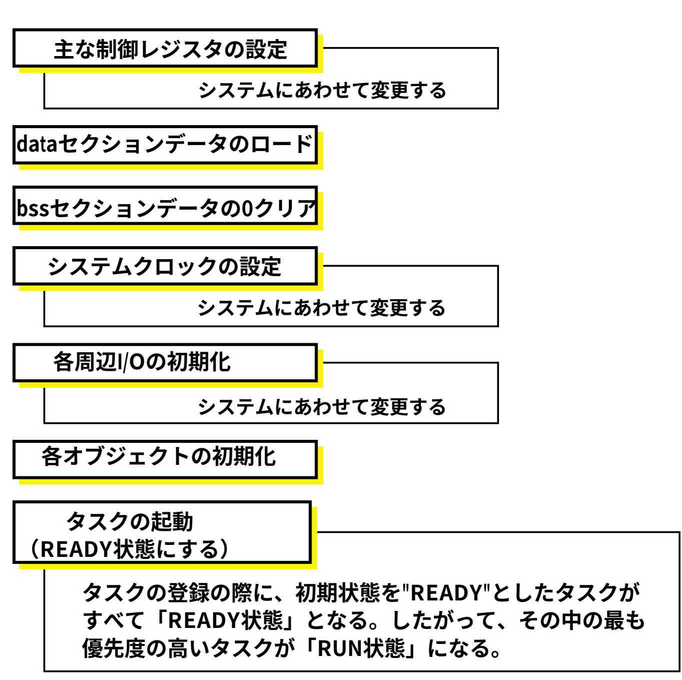


図 3.3.1　MR30 用スタートアッププログラムの処理概要

スタートアッププログラムの変更点

MR30 を用いてプログラム開発を行うためには、MR30 が提供するスタートアッププログラムを変更する必要があります。

主な変更内容を次に示します。

- プロセッサモードレジスタの設定
- 割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定
- 使用する周辺Ｉ／Ｏの初期化
- メモリ配置の変更 (注)

プロセッサモードレジスタの設定（" crt0mr.a30 "）

プロセッサモードレジスタなどM16C/60シリーズ、M16C/20シリーズを直接制御するレジスタの初期化を行います。変更場所および記述方法を図 3.3.2 に示します。

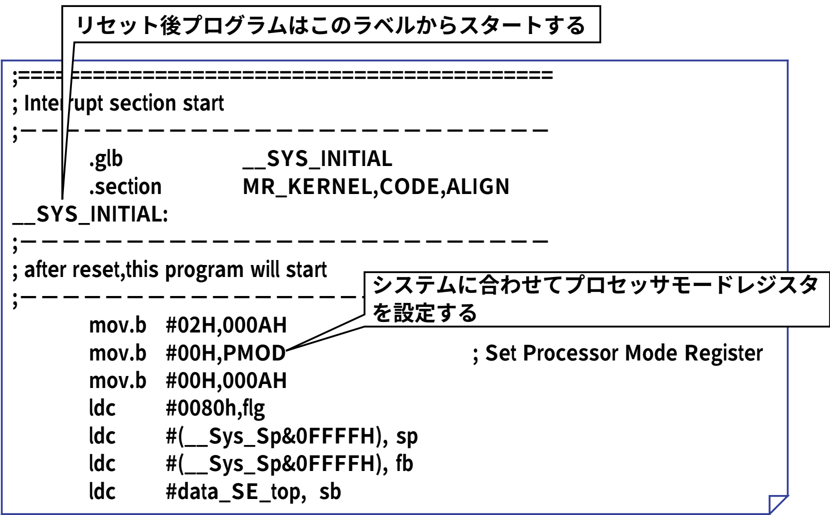


図 3.3.2 M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズ制御レジスタの初期化

（注） メモリ配置の変更は、スタートアッププログラム内では行えません。MR30 用セクション定義ファイル " c_sec.inc " を修正する必要があります .

割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定（" crt0mr.a30,c_sec.inc "）

割り込みベクタテーブルの先頭アドレスを設定します。この設定値は " crt0mr.a30 " 内で、割り込みテーブルレジスタ " INTB " に設定します。

(" crt0mr.a30 ")

```
;-------------------------------------------------------
; Set System Stack Pointer
; and
; Set Interrupt Vector
;-------------------------------------------------------
        fclr    U
        ldc     #(__Sys_Sp&0FFFFH),ISP          ; set initial ISP
        mov.b   #0,R0L
        mov.b   #__SYS_IPL,R0H
        ldc     R0,FLG                          ; set system IPL
        ldc     #((__INT_VECTOR>>16)&0FFFFH),INTBH
        ldc     #(__INT_VECTOR&0FFFFH),INTBL
        fset    I                               ; enable interrupt
```

(" c_sec.inc ")

```
;-------------------------------------------------------
;       VECTOR          TABLE
;-------------------------------------------------------
        .glb            __INT_VECTOR
        .section        INTERRUPT_VECTOR        ;Interrupt vector table
        .org            0ffd00H
__INT_VECTOR:
```

" c_sec.inc "内で定義した値を割り込みテーブルレジスタ" INTB "に設定する

図 3.3.3　割り込みベクタテーブルの先頭アドレスの設定

使用する周辺Ｉ／Ｏの初期化（" crt0mr.a30 "）

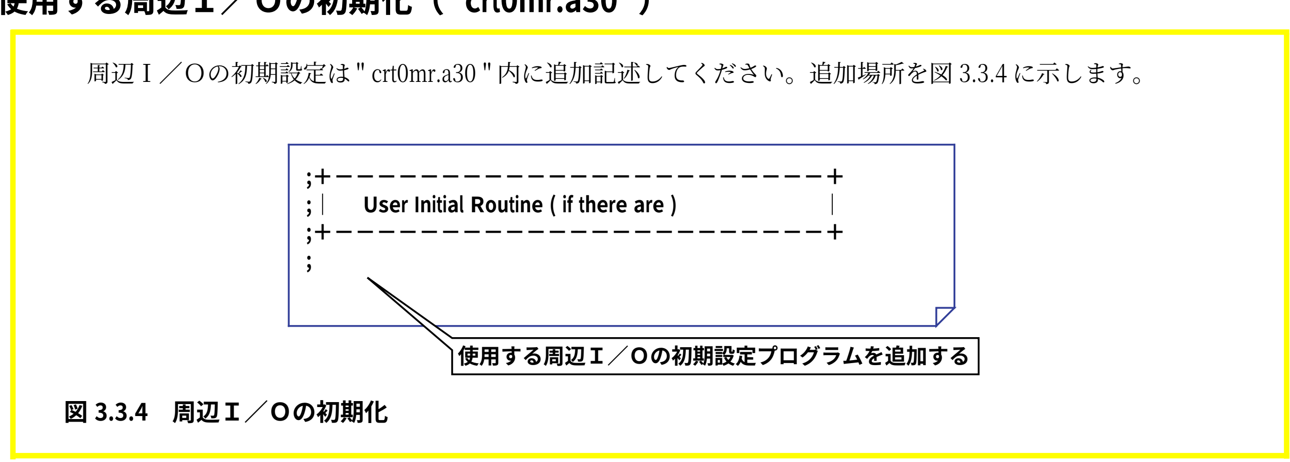


図 3.3.4　周辺Ｉ／Ｏの初期化

メモリ配置の変更（" c_sec.inc "）

各セクションの先頭アドレスを疑似命令 " .org " を用いて設定します。先頭アドレス指定がないセクションについては、前に定義したセクションに連続してメモリに配置されます。

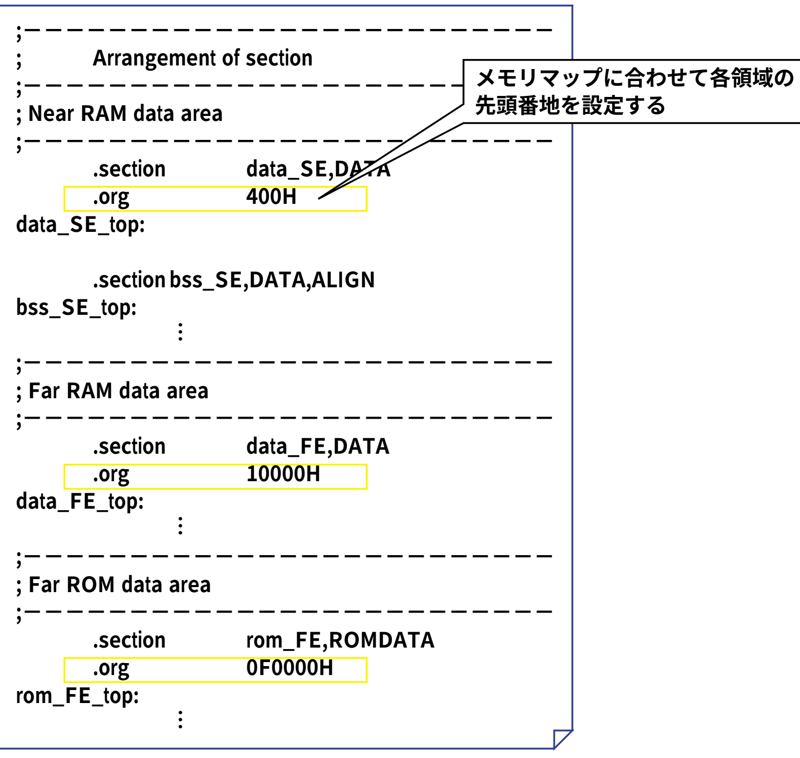


図 3.3.5　メモリ配置の変更

オブジェクト定義ファイル(コンフィグレーションファイル)

各オブジェクトの定義は「コンフィグレーションファイル」と呼ばれるファイルに記述します。このコンフィグレーションファイルは、MR30が提供するコンフィグレーションファイルのテンプレートファイル"default.cfg"をもとにして作成します。

図 3.3.6　コンフィグレーションファイルの概要

作成したコンフィグレーションファイルは、MR30が提供する「コンフィグレータ"cfg30"」によって、MR30を組み込む際に必要となるファイルに展開されます。

コラム　MR30 用メモリ配置設定ファイル

MR30が提供するスタートアッププログラムには、メモリ配置を決定するインクルードファイルが含まれています。メモリ配置を変更する場合は、これらのインクルードファイルを修正する必要があります。ここでは、メモリ配置に関連するファイルについて説明します。

表 3.3.1　MR30 用メモリ配置関連ファイル

ファイル名	機能	備考
c_sec.inc	NC30を用いた場合のメモリ配置を行うインクルードファイル	C言語による開発用
asm_sec.inc	AS30のみを用いた場合のメモリ配置を行うインクルードファイル	アセンブリ言語による開発用

3.3.2　MR30 を用いた開発の流れ

この項では、MR30 を組み込んだプログラム開発の流れを説明します。

MR30 を用いた開発の流れ

図 3.3.7 に MR30 を使用する際の開発の流れを示します。

コンフィグレーション
ファイル

スタートアップ
プログラム
(修正済み)

C言語
ソースファイル

システムコール
ファイル

コンフィグレータ
cfg30

Cコンパイラ
nc30

ユーティリティ
mkmrtbl

システム生成手順
記述ファイル
(makefile)

システムデータ
定義ファイル

アセンブリ言語
ソースファイル

アセンブリ言語
ソースファイル

リロケータブルアセンブラ
as30

リロケータブル
ファイル

リロケータブル
ファイル

MR30ライブラリ

リンケージエディタ
ln30

ロードモジュールコンバータ
lmc30

機械語ファイル

ROM書き込み

図 3.3.7　開発の流れ

開発の手順

以下の手順でプログラムを開発します。

1．各タスク , ハンドラの設計 , 作成
2．スタートアッププログラムの修正
3．メモリ配置の修正
4．コンフィグレーションファイルの作成
5．コンフィグレータの起動
6．オブジェクトの作成

3.4 NC30 を用いた MR30 の組み込み

3.4.1 NC30 を用いたプログラムの記述

MR30 を組み込むためにNC30では拡張機能を用意しています。MR30のための拡張機能は、MR30のコンフィグレータを用いることにより特定ファイルに書き込まれます。そのためプログラム内に特定ファイルをインクルードすれば、拡張機能を既存のプログラム内に記述する必要はありません。しかし、拡張機能の意味は理解してください。

以下の項では、NC30 を用いた MR30 の組み込み方を説明します。

インクルードするファイル

MR30を用いたプログラムを作成するためには、プログラムの先頭で必要なファイルをインクルードします。このインクルードファイルには MR30 をプログラム内に組み込むための必要な定義事項が書かれています。

表 3.4.1 MR30 を使用するためのインクルードファイル

ファイル名	機能
mr30.h	MR30が必要とする定義事項とシステムコールのプロトタイプ宣言を行います。
id.h	プログラム内で使用するオブジェクトのIDの書き換えを行います。 MR30用拡張機能を用いた宣言を行います。 （このファイルはコンフィグレータを起動した際にコンフィグレーションファイルをもとに自動作成されます。）

```
#include        <mr30.h>
#include        "id.h"
```

上の例は、" mr30.h " が標準ディレクトリ(環境変数 INC30 で指定されたディレクトリ)に、" id.h " がカレントディレクトリに置かれている場合の記述例です。

" id.h " は、コンフィグレータを起動することにより、カレントディレクトリに作成されます。

MR30 用拡張機能

MR30 を使用するための拡張機能は、プリプロセスコマンドである #pragma 命令を使用します。これらの拡張機能は、指定する関数より前に記述しなければなりません。

表 3.4.2 に MR30 用拡張機能を示します。

表 3.4.2　MR30 用拡張命令一覧

拡張命令	意味
#pragma　TASK	タスクとする関数を指定します。
#pragma　INTHANDLER	OS依存割り込みハンドラとする関数を指定します。
#pragma　HANDLER	INTHANDLERの省略形です。
#pragma　CYCHANDLER	周期起動ハンドラとする関数を指定します。
#pragma　ALMHANDLER	アラームハンドラとする関数を指定します。

ただしMR30が持つコンフィグレータを使用すると、必要となるMR30用拡張機能は自動的に組み込まれます。したがって、これらの拡張命令を記述する必要はありません。

3.4.2 NC30 を用いたタスクの記述

この項では、NC30 を用いてタスクを記述する方法と注意点を説明します。

タスクの記述方法

タスクに指定した関数およびその関数から呼び出される関数内では、MR30のシステムコールを使用できます。
タスクの記述例を図 3.4.1 に示します。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

void   task1 ( void )
{
       for ( ; ; ) {
                 ⋮
       }
}
```

図 3.4.1 タスクの記述例

タスク指定による命令展開の特徴

タスクに指定した関数は以下の 2 点で、通常の関数の命令展開と異なります。

・FB(フレームベースレジスタ)のスタックへの退避は行いません。
・関数を終了する場合、ext_tsk システムコールを出力します。

タスクを記述するときの注意点－１－

タスクは、関数スタイルで記述します。その際、以下の点に注意してください。

・リターン値は、void 型とします。
・引数は、void 型または int 型引数を１つ持ちます。指定できる引数は１つだけです。
MR30 ではタスクが最初に起動する場合（sta_tsk システムコールの引数として）、スタートコードとして整数型のデータを１つ受け取ることができます。
・static 型の関数をタスクとして定義できません（図 3.4.3 参照）。
・タスクを再スタートさせた場合、タスク内で使用している外部変数と static 変数は初期化されません。
再度初期化してください（図 3.4.4 参照）。

記述例と注意点を図 3.4.2、図 3.4.3、図 3.4.4 に示します。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

void   task1 ( void )
{
                :
}

void   task2 ( int   code )
{
       switch ( code ) {
                :
       }
}
```

引数に1個の整数型を指定できる

スタートコードを用いて処理を
切り替えることができる

図 3.4.2　タスクの記述例

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

static   void   task3 ( void )
{
                :
}
```

static型の関数はタスクとして
使用できない

図 3.4.3　タスクを記述する際の注意点－１－（static 型の関数について）

タスクを記述するときの注意点－２－

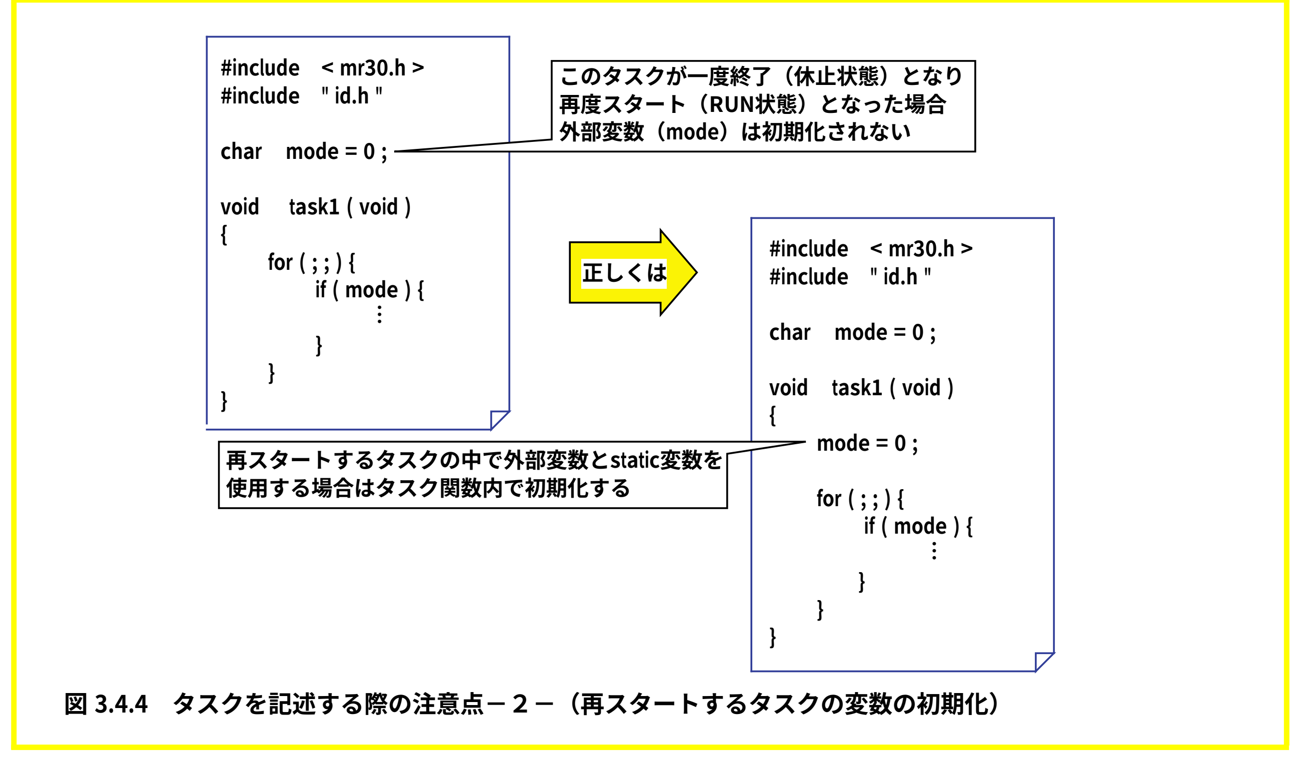


図 3.4.4　タスクを記述する際の注意点－２－（再スタートするタスクの変数の初期化）

コラム　変数の参照範囲（スコープ）

変数は、記憶クラスにより参照範囲が異なります。記憶クラスによる変数の参照範囲を表 3.4.3、図 3.4.5 に示します。

表 3.4.3　変数の参照範囲

変数の記憶クラス	参照範囲
外部変数	すべてのタスク、ハンドラで参照ができます。
タスク、ハンドラ外static変数	同一ファイル内のタスク、ハンドラで参照できます。
タスク、ハンドラ内static変数	1つのタスク、ハンドラ内で参照できます。
内部変数	1つのタスク、ハンドラ内で参照できます。
レジスタ変数	

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

char   mode = 0 ;
static   char   code = 0 ;

void   task1 ( void )
{
      static   char   data1 ;
      char   data2 ;

      mode = 0 ;

      for ( ; ; ) {
            if ( mode ) {
                  code = 1;
                  data1 = code;
                  data2 = code;
                       :
            }
      }
}
```

外部変数：すべてのタスク、ハンドラで参照可能

タスク、ハンドラ外のstatic変数：
このファイル内のタスク、ハンドラで参照可能

このタスクが一度終了（休止状態）し再度スタート（RUN状態）したとき 外部変数（mode）は初期化されない

タスク、ハンドラ内のstatic変数：task1のタスク内で参照可能

内部変数：task1のタスク内で参照可能

図 3.4.5　変数の参照範囲例

3.4.3 割り込みハンドラの記述

MR30 では、割り込みハンドラは「OS 依存割り込みハンドラ」と「OS 独立割り込みハンドラ」の 2 種類に分類されています。

この項では、OS 依存割り込みハンドラの記述方法と注意点を説明します。(注)

OS 依存割り込みハンドラを C 言語によって記述する

OS依存割り込みハンドラと指定した関数内では、OS依存割り込みハンドラ内で使用可能なシステムコールを使用することができます。

記述例を図 3.4.6 に示します。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

void   int_hand ( void )
{
        :
}
```

図 3.4.6 OS 依存割り込みハンドラの記述例

OS 依存割り込みハンドラの命令展開の特徴

OS 依存割り込みハンドラと指定した関数は、以下の処理を行う命令に展開されます。

・全レジスタのスタックへの退避を行います .
・MR30 用割り込みハンドラ入口処理を行います .
・終了時に全レジスタのスタックからの復帰を行います .
・ret_int システムコールを用いて終了します .

（注）「OS 独立割り込みハンドラ」の記述方法は、「2.5 割り込み処理」に記述している内容と同様です。

OS 依存割り込みハンドラを記述するための注意点

OS 依存割り込みハンドラは関数スタイルで記述します。その際、次のような点に注意してください。

- リターン値は void 型のみ有効です。
- 引数は void 型のみ有効です。
- static 型の関数を定義することはできません。
- 使用できるシステムコールは、ハンドラ内で使用可能なもののみです。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

void   int_hand ( void )
{
       iwup_tsk ( ID_task1 ) ;
              :
}
```

OS依存割り込みハンドラはリターン値引数ともvoid型のみ

OS依存割り込みハンドラ内ではハンドラ内で使用可能なシステムコールを使用する

図 3.4.7　OS 依存割り込みハンドラの記述例

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

static   void int_hand ( void )
{
              :

}
```

static型の関数をOS依存割り込みハンドラとして定義できない

図 3.4.8　OS 依存割り込みハンドラを記述する際の注意点（static 型の関数について）

OS 依存割り込みハンドラとタスクのデータのやり取り

OS依存割り込みハンドラとタスク間でデータをやり取りする方法は、外部変数を用いる方法とメイルボックスを用いる方法の２通りがあります。

図 3.4.9 に外部変数を利用した例を示します。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

char   data1 ;          ← タスクとやり取りを行う場合外部変数を宣言する

void   int_hand ( void )
{
       data1 = 0x10 ;
       iwup_tsk ( ID_task1 ) ;
              :
}

void   task1 ( void )
{
       for ( ; ; ) {
              slp_tsk();    ← OS依存割り込みハンドラからのデータを使用する
              if ( data1 ) {
                     :
              }
       }
}
```

図 3.4.9　外部変数を利用したデータのやり取りの記述例

コラム　ハンドラ内で使用できるシステムコール

OS依存割り込みハンドラ、周期起動ハンドラ、アラームハンドラ内では特定のシステムコールのみ使用できます。使用できないシステムコールを用いた場合、プログラムが正常に動作しませんので注意してください。また、ixxx_xxx形式のシステムコールはハンドラ専用のシステムコールです。システムコールの詳細な機能については、MR30 のマニュアルを参照してください。

ista_tsk()	ichg_pri()	irot_rdq()	irel_wai()	get_tid()	isus_tsk()
irsm_tsk()	iwup_tsk()	iset_flg()	clr_flg()	pol_flg()	isig_sem()
preq_sem()	isnd_msg()	prcv_msg()	set_tim()	get_tim()	act_cyc()

メイルボックスを利用したデータのやり取り

図 3.4.10 にメイルボックスを利用して OS 依存割り込みハンドラとタスク間でデータのやり取りをする例を示します。この記述例では16ビット長のデータをメッセージとしています。ほかに、16ビット長のアドレスをメッセージとすることもできます。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

void   int_hand ( void )
{
       int   data1 ;
       data1 = 0x10 ;
       isnd_msg ( ID_mbx1 , ( PT_MSG ) data1 ) ;
                       :
                       :
}

void   task1 ( void )
{
       int   data1 ;
       for ( ; ; ) {
              rcv_msg ( ( PT_MSG ＊) & data1 , ID_mbx1 )
;
              if ( data1 ) {
                      :
              }
       }
}
```


図 3.4.10　メイルボックスを利用したデータのやり取りの記述例

3.4.4 周期起動ハンドラ、アラームハンドラの記述

この項では、周期ハンドラおよびアラームハンドラの記述方法と注意点を説明します。

周期起動ハンドラ、アラームハンドラの記述方法

周期起動ハンドラ、アラームハンドラに指定した関数内では、ハンドラ内で使用可能なシステムコールを使用することができます。

記述例を図 3.4.11 に示します。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

void cyc_hand(void)
{
        :
}
```

図 3.4.11 周期起動ハンドラ、アラームハンドラの記述例

周期起動ハンドラ、アラームハンドラは、MR30 の用意するシステムクロック割り込みハンドラ内で呼び出される関数になります。

命令展開の特徴

周期起動ハンドラ、アラームハンドラに指定した関数は、以下の処理を行う命令に展開されます。

- rts 命令（M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズ用サブルーチン復帰命令）または、exitd 命令（M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズ用関数復帰命令）を用いて終了します。

周期起動ハンドラおよびアラームハンドラを記述するための注意点

周期起動ハンドラ、アラームハンドラは、関数スタイルで記述します。その際、以下の点に注意してください。

- リターン値は void 型のみ有効です。
- 引数は void 型のみ有効です。
- static 型の関数を周期起動ハンドラ、アラームハンドラとして定義できません。
- 使用できるシステムコールは、ハンドラ内で使用可能なもののみです。

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

void   cyc_hand ( void )
{
       iwup_tsk ( ID_task1 ) ;
                 :
}
```

周期起動ハンドラは、リターン値
引数ともvoid型とする

周期起動ハンドラ内ではハンドラ内で
使用可能なシステムコールを使用する

図 3.4.12　周期起動ハンドラの記述例

```
#include   < mr30.h >
#include   " id.h "

static   void   cyc_hand ( void )
{
                 :
}
```

static型の関数を周期起動ハンドラとして定義できない

図 3.4.13　周期起動ハンドラの記述例（誤りの例）

周期起動ハンドラ , アラームハンドラとタスクのデータのやり取り方法

周期起動ハンドラ、アラームハンドラが、タスクとデータのやり取りを行う場合は、OS依存割り込みハンドラとタスクのデータのやり取りと同様の方法を用います。

付　録

付録Ａ　NC30 と NC77 の機能比較
付録Ｂ　NC30 コマンドリファレンス
付録Ｃ　Ｑ＆Ａ

付録 A　NC30 と NC77 の機能比較

セクションについて

M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズの特長の１つは「64K バイトごとの壁」がない 1M バイト空間をサポートし、7700 ファミリのような「バンク」が存在しないことです。そして、7700 ファミリでは配置アドレスに制約のあった割り込みプログラムも、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズでは通常のプログラムと同様に全メモリ空間に任意に配置することができます。

したがって、NC30 では、NC77 の interrupt セクションを削除し、割り込みプログラムは program セクションに格納、配置します。

また、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズの割り込みベクタテーブルは、全メモリ空間に任意に配置できるテーブル「可変ベクタテーブル」と、機種ごとに配置アドレスが決まっているテーブル「固定ベクタテーブル」の２種類があります。NC30 では前者を vector セクション、後者を fvector セクションとして配置します。

表 A.1 にセクションに関する NC30 と NC77 の相違点を示します。

表 A.1　セクションに関する機能比較

項目	NC30	NC77
stack	スタックとして使用する領域。アドレス00400Hから0FFFFHの間に配置する。	スタックとして使用する領域。7700ファミリの0バンクに配置する。
vector	M16C/60の割り込みベクタテーブルの内容を格納する。割り込みベクタテーブルはINTBレジスタ相対によりM16C/60の全メモリ空間に任意に配置できる。	7700ファミリの割り込みベクタテーブルの内容を格納する。この割り込みベクタテーブルを配置するアドレスは機種により異なる。
fvector	M16C/60の固定ベクタの内容を格納する。	
interrupt	削除 （M16C/60では、割り込みプログラムを全メモリ空間に任意に配置できるため、"program"セクションに配置する。）	割り込みプログラム（#pragma INTERRUPT、#pragma HANDLARで指定された関数）を格納する。このセクションは7700ファミリの0バンクに配置する。

機能変更された拡張機能

M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズには「バンク」、「m、x フラグ」は存在しません。したがって、near／far修飾子の定義および asm 関数の一部機能が変わります

表 A.2　機能変更された拡張機能

項目	NC30	NC77
near・far修飾子	1. データをアクセスするアドレッシングモードを指定する。 near；00000H～0FFFFHのアクセス far ；00000H～FFFFFHのアクセス （2. 関数はすべてfar属性になる）	1. データをアクセスするアドレッシングモードを指定する。 near；同一バンク内へのアクセス far；バンク外へのアクセス 2. 関数の呼び出しにJSR命令またはJSRL命令を使用するかを指定する。 near；JSR命令で呼び出す far；JSRL命令で呼び出す
asm関数	1. C言語中にアセンブリ言語を記述する。 2. auto変数を変数名で指定する。 3. 最適化を部分的に抑止する。 4. レジスタ引数を変数名で指定する。	1. C言語中にアセンブリ言語を記述する。 2. auto変数を変数名で指定する。 3. 最適化を部分的に抑止する。 4. m、xフラグを制御する。

追加された拡張機能

NC30 では、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズの特長であるビット操作命令や、SB 相対アドレッシングを使用するための拡張機能を追加しました。また、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズの多様な割り込み処理に対応するため、ソフトウェア割り込みやレジスタバンクを使った割り込みプログラムを記述するための拡張機能も用意しています。さらに inline 記憶クラスや、インラインアセンブル機能 " #pragma　ASM " を使用して、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズの長所を最大限に引き出すことができます。

表 A.3　追加された拡張機能

項目	NC30
#pragma ASM ～ #pragma ENDASM	アセンブリ言語で記述を行う領域を指定する。
#pragma BIT	16ビット絶対アドレッシングモードによる、１ビット操作命令を使用できる領域にある変数であることを宣言する。
#pragma SBDATA	SB相対アドレッシングを使用できるデータであることを宣言する。
#pragma INTERRUPTt/B	割り込み関数呼び出し時に、レジスタをスタックに退避する代わりにレジスタバンクを切り換えます。
#pragma INTCALL	ソフトウェア割り込み（int命令）で呼び出す関数を宣言する。

削除された拡張機能

表 A.4 に示す NC77 の拡張機能は、M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズには存在しないレジスタやフラグを操作するものです。したがって、NC30 ではサポートしておりません。

表 A.4　NC30 ではサポートしていない拡張機能

項目	NC77
#pragma LOADDT	関数呼び出し時に、データバンクレジスタ（DT）をコンパイル時の値に戻します。
#pragma M1FUNCTION	mフラグを１の状態にして関数を呼び出します。

また、表 A.5 に示す拡張機能は NC77 との互換性上、NC30 でもサポートしています。しかし、新規にプログラムを作成する場合は、これらの拡張機能は使用せず、推奨例に従って記述してください。

表 A.5　NC77 との互換性のための拡張機能と NC30 での推奨例

項目	機能	NC30での推奨例
#pragma ROM	romセクションに配置する。	const修飾子を使用する。
#pragma INTF	割り込み処理関数を指定する。	#pragma INTERRUPTを使用する。
#pragma EQU	変数の絶対アドレスを指定する。	#pragma ADDRESSを使用する。

付録 B　NC30 コマンドリファレンス

NC30 コマンドの入力書式

%nc30 △[起動オプション]△[アセンブリ言語ソースファイル名]△
[リロケータブルオブジェクトファイル名]△ <C 言語ソースファイル名 >

%：プロンプトを示します。
<　>：必須項目を示します。
[　]：必要に応じて記述する項目を示します。
△：スペースを示します。
複数のオプションを記述する場合はスペースキーで区切ってください。

コンパイルドライバの制御に関するオプション

表 B.1　コンパイルドライバの制御に関するオプション

オプション	機能
－c	リロケータブルファイル（属性 .r30）を作成し処理を終了します。
－D識別子	識別子を定義します。#defineと同じ機能です。
－Iディレクトリ名	#includeで指定するファイルが存在するディレクトリ名を指定します。ディレクトリは最大８個まで指定可能です。
－E	プリプロセスコマンドのみを起動し結果を標準出力に出力します。
－P	プリプロセスコマンドのみを起動しファイル（属性 .i）を作成します。
－S	アセンブリ言語ソースファイル（属性 .a30）を作成し、処理を終了します。
－Uﾌﾟﾘﾃﾞﾌｧｲﾝﾄﾞﾏｸﾛ名	指定したプリデファインドマクロを未定義にします。
－silent	起動時のコピーライトメッセージを出力しません。

起動オプション－c、－E、－Pおよび－Sを指定しない場合、NC30はln30まで制御を行い、アブソリュートモジュールファイル（属性 .x30）まで作成します。

出力ファイル指定オプション

表 B.2　出力ファイル指定オプション

オプション	機能
－oファイル名	nc30が生成するファイル（アブソリュートモジュールファイル、マップファイルなど）の名称を指定します。 ファイルの拡張子は記述しないでください。

バージョン情報表示オプション

表 B.3　バージョン情報表示オプション

オプション	機能
－v	実行中のコマンドプログラム名およびコマンドラインを表示します。
－V	コンパイラの各プログラムの起動時にメッセージを表示し、処理を終了します（コンパイル処理は行いません）。

デバッグ用オプション

表 B.4　デバッグ用オプション

オプション	機能
－g	デバッグ情報をアセンブリ言語ソースファイル（属性 .a30）に出力します。
－genter	関数呼び出し時に必ずenter命令を出力します。デバッガのスタックトレース機能を使用するときは必ずこのオプションを指定してください。
－greg	レジスタ変数に対するデバッグ情報を出力します。

警告オプション

表 B.5　警告オプション

オプション	短縮形	機能
－Wnon_prototype	－WNP	プロトタイプ形式の宣言がされていない関数を使用、もしくは定義した場合、警告を出します。
－Wunknown_pragma	－WUP	サポートしていない#pragmaを使用した場合、警告を出します。
－Wno_stop	－WNS	エラーが発生してもコンパイル作業を停止しません。
－Wstdout	なし	エラーメッセージをホストマシンの標準出力（stdout）に出力します。

最適化オプション

表 B.6　最適化オプション

オプション	短縮形	機能
－O	なし	速度およびROM容量ともに最小にする最適化を行います。
－OR	なし	速度よりもROM容量を重視した最適化を行います。
－OS	なし	ROM容量よりも速度を重視した最適化を行います。
－Ono_bit	－ONB	ビット操作をまとめる最適化を抑止します。
－Ono_break_source_debug	－ONBSD	ソース行情報に影響する最適化を抑止します。
－Osp_adjust	－OSA	スタック補正コードを取り除く最適化を行います。これによりROM容量を削減することができます。ただし、使用するスタック量が多くなる可能性があります。
－Ono_stdlib	－ONS	標準ライブラリ関数のインライン埋め込みやライブラリ関数の変更などを抑止します。
－Ono_cse	－ONC	共通命令を削除する最適化を抑止します。

ライブラリ指定オプション

表 B.7　ライブラリ指定オプション

オプション	機能
－l△<ライブラリ名>	リンク時に使用するライブラリを指定します。

アセンブル・リンクオプション

表 B.8　アセンブル・リンクオプション

オプション	機能
－as30△<ｵﾌﾟｼｮﾝ>	アセンブルコマンドas30のオプションを指定します。２個以上のオプションを渡すときは、"（ダブルクォーテーション）で囲んでください。
－ln30△<ｵﾌﾟｼｮﾝ>	リンクコマンドln30のオプションを指定します。２個以上のオプションを渡す場合は、"（ダブルクォーテーション）で囲んでください。

生成コード変更オプション

表 B.9　生成コード変更オプション

オプション	短縮形	機能
−fansi	なし	−fnot_reserve_asm、−fnot_reserve_far_and_near、−fnot_reserve_inline、および−fextend_to_intを有効にします。
−fnot_reserve_asm	−fNRA	asmを予約語にしません。（_asmのみ有効になります。）
−fnot_reserve_far_and_near	−fNRFAN	far、nearを予約語にしません。（_far、_nearのみ有効になります。）
−fnot_reserve_inline	−fNRI	inlineを予約語にしません。（_inlineのみ有効になります。）
−fextend_to_int	−fETI	char型データをint型に拡張し演算を行います。
−fchar_enumerator	−fCE	enumerator（列挙子）の型をint型ではなくunsigned char型で扱います。
−fno_even	−fNE	データ出力時に奇数データと偶数データを分離しないで、すべてodd属性のセクションに配置します。
−fshow_stack_usage	−fSSU	スタックの使用状況をファイル（拡張子 .stk）に出力します。
−ffar_RAM	−fFRAM	RAMデータのデフォルト属性をfarにします。
−fnear_ROM	−fNROM	ROMデータのデフォルト属性をnearにします。
−fconst_not_ROM	−fCNR	constで指定した型をROMデータとして扱いません。
−fnot_address_volatile	−fNAV	#pragma ADDRESS（#pragma EQU）で指定した変数をvolatileで指定した変数とみなしません。
−fsmall_array	−fSA	far型の配列を参照する場合、その総サイズが64Kバイト以内であれば、添字の計算を16ビットで行います。
−fbit	−fB	near領域に配置した変数に対して、16ビット絶対アドレッシングモードによる1bit操作命令を出力します。

その他のオプション

表 B.10　その他のオプション

オプション	短縮形	機能
−dsource	−dS	出力するアセンブリ言語ソースファイルリスト中にC言語ソースリスティングをコメントとして出力します。

コマンド入力例

① スタートアッププログラム（ncrt0.a30）と C 言語ソースプログラム（c_src.c）をリンクし、　アブソリュートモジュールファイル（test.x30）を作成する。

```
%nc30 -otest ncrt0.a30 c_src.c
        → 出力ファイル名を指定
```

② アセンブラリストファイルとマップファイルを生成します。

```
%nc30 -as30 "-l" -ln30 "-M" c_src.c
        → "as30"、"ln30" のオプションを指定
```

③ デバッグ情報をアセンブリ言語ソースファイル（属性 .a30）に出力します。

```
%nc30 -g -S ncrt0.a30 c_src.c
```

付録 C　Q & A

構造体の転送（コピー）

＜ Question ＞

構造体を転送（コピー）するには、どのような方法がありますか？

＜ Answer ＞

(1) 同じ定義の構造体を転送する場合
→構造対変数名と代入演算子を用いて転送します。

(2) 異なる定義の構造体を転送する場合
→メンバごとに、代入演算子を用いて転送します。

```
struct   tag1 {                          /＊ 構造体の定義 ＊/
         int      mem1 ;
         char     mem2 ;
         int      mem3 ;
} ;

struct   tag2 {
         int      mem1 ;
         char     mem2 ;
         int      mem3 ;
} ;

near struct tag1 near_s1t1,near_s2t1 ;
near struct tag2 near_s1t2 ;
far struct tag1 far_s1t1,far_s2t1 ;

main()
{
         near_s1t1.mem1 = 0x1234 ;
         near_s1t1.mem2 = 'A' ;
         near_s1t1.mem3 = 0x5678 ;

    /＊ 同じ定義の構造体の転送 ------------------------------ ＊/
         near_s2t1 = near_s1t1 ;    /＊ near -> near ＊/
         far_s1t1 = near_s1t1 ;     /＊ near -> far ＊/
         near_s2t1 = far_s1t1 ;     /＊ far -> near ＊/
         far_s2t1 = far_s1t1 ;      /＊ far -> far ＊/

    /＊異なる定義の構造体の転送 ----------------------------- ＊/
         near_s1t2.mem1 = near_s1t1.mem1 ;
         near_s1t2.mem2 = near_s1t1.mem2 ;
         near_s1t2.mem3 = near_s1t1.mem3 ;
}
```


図 C.1　構造体の転送の記述例

生成コードの削減（１）

＜ Question ＞

生成コードを減らしたいのですが、どのような点をチェックすればよいでしょうか？

＜ Answer ＞

以下の点をチェックしてください。

【データ宣言時に・・・】

(1) int 型を宣言しているデータで、次のようなデータ範囲に納まるものはありませんか。
なお、() 内は省略可能です。
unsigned　int 型で、0 ～ 255 以内 →（unsigned）char 型に修正してください。
（signed） int 型で、－ 128 ～ 127 以内 → signed　char 型に修正してください。

(2) unsigned ／ signed 修飾子を省略している int 型以上のデータで、負の数をもたないものはありませんか。→ unsigned 修飾子を付けてください。
（NC30 では、int 型以上のデータは "signed" がデフォルトになります）

【ビットデータ宣言時に・・・】

(1) ビットフィールドを使用しているビットデータは、"#pragma　BIT" を宣言していないものはありませんか。→必ず、"#pragma　BIT" を宣言してください。
（NC30 で直接 1 ビット命令を生成させるには、ビットフィールドの宣言以外に、 "#pragma　BIT" が必要です）

【コンパイル時に・・・】

(1) 最適化オプション "－ OR" を指定していますか。→ "－ OR" を指定してください。
（NC30 では最適化オプション "－ OR" を指定すると、ROM 効率を重視した最適化を行います。）

生成コードの削減（2）

＜ Question ＞

ファイル分割をしています。
生成コードを削減するためには、どのような点に注意すればよいでしょうか。

＜ Answer ＞

以下の点に注意してください。

【SB 相対アドレッシング内にあるデータを参照するとき・・・】

(1) SB相対アドレッシング内にあるデータを参照する場合、必ず"#pragma　SBDATA"を宣言してください。

＜ソースファイル１＞
→"mode"を定義

```
void func1(void) ;

char mode ;
#pragma SBDATA mode

void main(void)
{
        mode = 1 ;
        func1() ;
}
```

＜ソースファイル２＞
→"mode"を参照

```
extern   void   func(void) ;

extern char mode ;
#pragma SBDATA mode

void func1(viod)
{
        mode = mode + 1 ;
}
```

"mode"をSB相対でアクセスするためには
参照側で"#pragma　SBDATA"を宣言する

図 C.2　"#pragma　SBDATA" の記述例

【生成コードが 64k バイト以下のプログラムのとき・・・】

(1) 各ファイルの先頭で、asm 関数、または "#pragma　ASM" を用いて、分岐命令最適化制御指示命令".OPTJ JMPW,JSRW" を設定してください。

＜asm関数を使用＞

```
asm("   .OPTJ   JMPW,JSRW") ;

void   func1(void) ;
char   mode ;

void   main(void)
{
        :
}
```

＜"#pragma　ASM"を使用＞

```
#pragma   ASM
          .OPTJ   JMPW,JSRW
#pragma   ENDASM

void   func1(void) ;

          :
```

図 C.3　".OPTJ　JMPW,JSRW" の設定例

改訂記録	M16C/60 シリーズ、M16C/20 シリーズプログラム作成の手引き＜C 言語編＞アプリケーションノート

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2003.09.19	−	初版発行

安全設計に関するお願い

- 弊社は品質、信頼性の向上に努めておりますが、半導体製品は故障が発生したり、誤動作する場合があります。弊社の半導体製品の故障又は誤動作によって結果として、人身事故火災事故、社会的損害などを生じさせないような安全性を考慮した冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計などの安全設計に十分ご留意ください。

本資料ご利用に際しての留意事項

- 本資料は、お客様が用途に応じた適切なルネサス テクノロジ製品をご購入いただくための参考資料であり、本資料中に記載の技術情報についてルネサス テクノロジが所有する知的財産権その他の権利の実施、使用を許諾するものではありません。
- 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例の使用に起因する損害、第三者所有の権利に対する侵害に関し、ルネサス テクノロジは責任を負いません。
- 本資料に記載の製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズムその他全ての情報は本資料発行時点のものであり、ルネサス テクノロジは、予告なしに、本資料に記載した製品または仕様を変更することがあります。ルネサス テクノロジ半導体製品のご購入に当たりましては、事前にルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店へ最新の情報をご確認頂きますとともに、ルネサス テクノロジホームページ(http://www.renesas.com)などを通じて公開される情報に常にご注意ください。
- 本資料に記載した情報は、正確を期すため、慎重に制作したものですが万一本資料の記述誤りに起因する損害がお客様に生じた場合には、ルネサス テクノロジはその責任を負いません。
- 本資料に記載の製品データ、図、表に示す技術的な内容、プログラム及びアルゴリズムを流用する場合は、技術内容、プログラム、アルゴリズム単位で評価するだけでなく、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。ルネサス テクノロジは、適用可否に対する責任は負いません。
- 本資料に記載された製品は、人命にかかわるような状況の下で使用される機器あるいはシステムに用いられることを目的として設計、製造されたものではありません。本資料に記載の製品を運輸、移動体用、医療用、航空宇宙用、原子力制御用、海底中継用機器あるいはシステムなど、特殊用途へのご利用をご検討の際には、ルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店へご照会ください。
- 本資料の転載、複製については、文書によるルネサス テクノロジの事前の承諾が必要です。
- 本資料に関し詳細についてのお問い合わせ、その他お気付きの点がございましたらルネサス テクノロジ、ルネサス販売または特約店までご照会ください。