

# **Brute Force**で行こう！ ～ ハードウェア将棋ワールド

2008年11月7日

伊藤 英紀

## 目次

---

- 将棋ハードウェア前史
  - FPGAとASIC
  - チェスハードウェア概観
- A級リーグ指し手1号の内部構造
  - システム構成
  - 各モジュール: 盤解析、評価、手生成、探索、盤更新
  - 実装に関する情報
- ASIC化による性能向上予測
  - 性能と強さの関係の定量化
  - 予想シナリオ

## A級リーグ指し手1号 (“Aリーグ”)

---

- FPGAで開発した将棋エンジン(世界初)
- 2007年6月 開発開始 工数~3人月
- 2008年5月、第18回世界コンピュータ将棋選手権で18位(2次予選15位)

開発者ブログ <http://aleag.cocolog-nifty.com/>  
(「FPGA 将棋」等で検索すると見つかる)

## 名前の由来

---



©川崎のぼる・梶原一騎  
「巨人の星」より

## **FPGAとは?**

---



Altera社HPより

## **FPGAとは?(続き)**

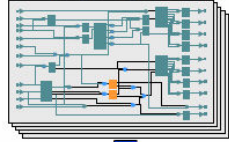
---

- Field Programmable Gate Array
- コンフィグレーション用メモリにデータをロードすることにより、ハードウェア構成を変更可能なLSI

➡ PCのBIOSを変更する程度の手間で、手軽にハードウェアの試作が可能に

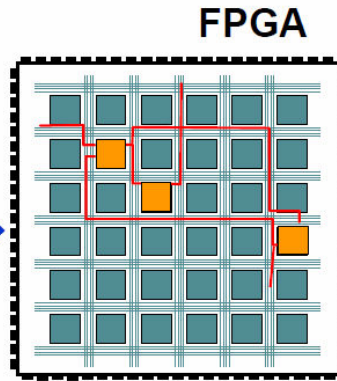
# FPGAを用いた設計・試作工程

HDL設計/論理合成



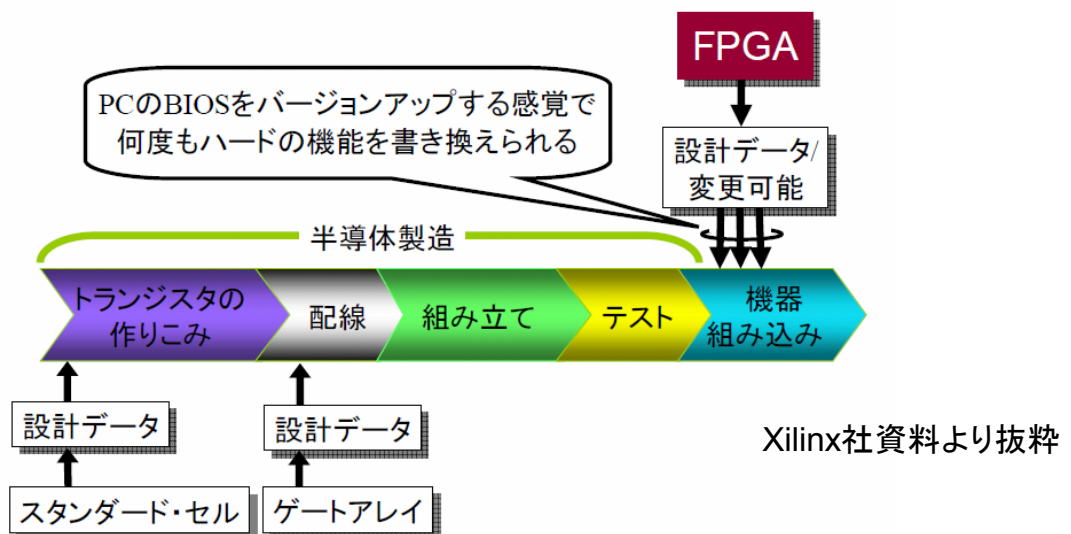
配置配線処理  
コンパイル

ビットストリーム  
ファイル



Xilinx社資料より抜粋

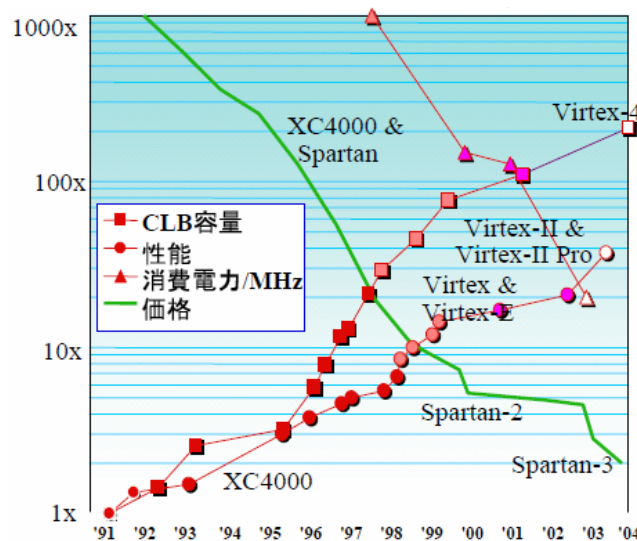
# FPGAとASICとの対比



## FPGAとASICとの対比(続き)

	ASIC	FPGA
開発費	×高い	○安い
試作期間	×長い	○短い
修正しやすさ	×大変	○手軽
チップ単価	○安い	×高い
回路規模	○大きい	×小さい
速度	○速い	×遅い

## FPGAの進化



Aリーグ並の回路  
が手が届くように  
なったのは05年頃

Xilinx社資料より抜粋

## ハード化エンジンの先例 ~ チェス

---

基本哲学「力任せに速く読めば強くなる」

資金とリソースを大量投入

- Belle
  - Thompson, Condon @ Bell Lab
  - 最初25 chip -> 325 chip -> 1700 chip 0.2m<sup>3</sup> 60kg
  - '70年代後半(76?)から開発
- Bebe
  - Scherzerら。'80年代?
- HiTech
  - Hans Berlinerら5人 @ CMU
  - 64 VLSI chip
  - '80年代後半(85?)から開発

## ハード化エンジンの先例(続き)

---

- Deep Blue ( / Deep Thought / ChipTest )
  - Feng-hsiung Hsu ら6人 @ CMU
  - 最初のMove Generator chipに6人月。MOSISで製造。Dynamic回路使用(!)
  - '89年からIBMに移る(当初5年計画)
  - 0.25um ASIC, システムで480chip(30/CPU)
  - ルート側はソフト、末端数手+静止をASICで
  - 1997年、当時のチェス世界チャンピオン(カスパロフ氏)に勝利

## 主な大会結果

---

### ACM(北アメリカ)大会

	1位	2位
78	Belle	
79	(Chess)	Belle
80	Belle	
81	Belle	
82	Belle	
83	<世界選手権と共通>	

	1位	2位
84	(Cray Blitz)	Bebe
85	HiTech	Bebe
86	Belle	
87	ChipTest-M	
88	Deep Thought	
89	HiTech&Deep Thought	

## 主な大会結果(続き)

---

### 世界選手権

	1位	2位
80	Belle	
83	(Cray Blitz)	Bebe
86	(Cray Blitz)	HiTech
89	Deep Thought	Bebe

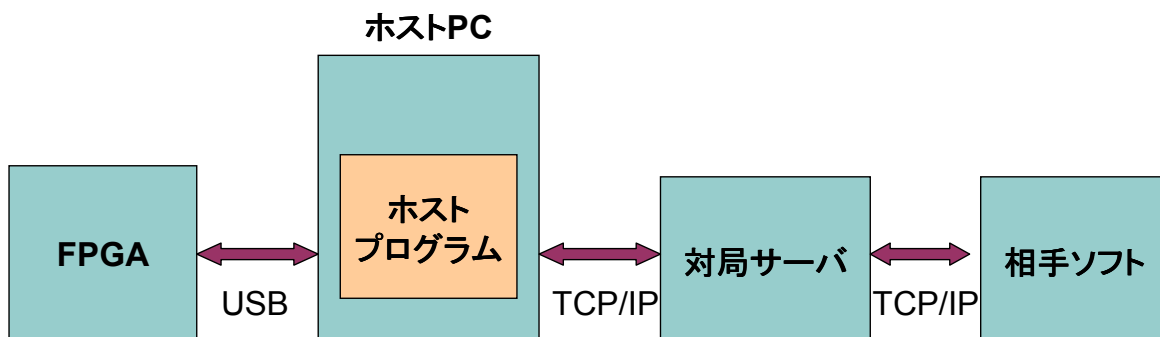
80年代以降はハード化エンジンがソフトを圧倒

**基本哲学の正しさを実証**

## ハード化エンジンの先例(続き)

- Hydra ( / Brutus )
  - Chrilly Donninger ら3人@Paderborn大
  - その後、UAEの支援者からの援助
  - FPGA 32個 x 2コア/chip, 33MHz @ Virtex-1 (その後更に進化した?)
  - 2003年世界選手権4位
  - 2005年、コンピュータチェス界ではトップクラス?
- 堀さんの詰探索回路
  - システムとして動いたわけではないらしい?

## A級リーグ指し手1号 : システム構成



ホストは序盤の定跡部を除き、  
通信を担当するのみ。思考はすべてFPGA  
ホスト「相手が△6四角を指した。次の手どうぞ」  
FPGA「...▲1八飛」

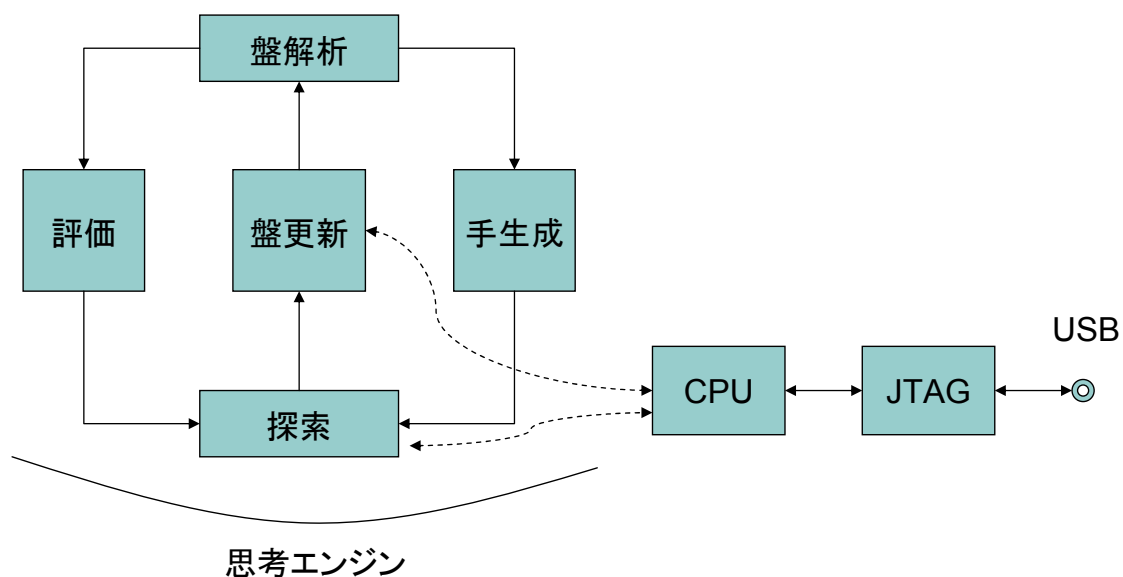
:



## 開発に必要な要素

- FPGAボード
  - Altera社製 CycloneIII開発キット DK-DEV-3C120N
  - 19万円弱 通販で購入 TAT ~1wk
- PC(開発用)
  - Core2Duo 1.86GHz, メモリ 2GB
- ツール
  - QuartusII, NiosII EDS ~ Altera HPから入手(無料)
- ブロードバンド接続

## Aリーグの思考エンジン



## データ構造

- 各マス 5bit x 81
- 持駒 歩...飛 x B/W
- 飛角香はID制。(valid, B/W, 成, x, y) x 8  
※ "B/W" : Black / White

## 盤解析モジュール

→ 81個の「セル」から成る

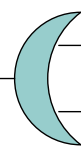
## 各セルへの入力

12近傍からの利き  
(飛び利きでない)

8方向からの飛び利き  
(valid, B/W, ID)

V		V
V	V	V
V	◎	V
V	V	V
V		V

左へ飛び利き



飛あり

空

右から飛び利き

## セル内での評価

---

- 両王との相対位置による重み
- B/W 双方の利きでテーブルを引く

	0	1	2	3	4+
0	0	-1	-2	-3	-3
1	1	0	-1	-2	-3
2	2	1	0	-1	-2
3	3	2	1	0	-1
4+	3	3	2	1	0

- 歩と飛の区別等は(今は)していない
- 引いた値と重みをかけ、各セルの評価値とする

## 盤面の評価

---

- 駒割
- 持ち駒ボーナス(歩のみ枚数で飽和する)
- 成駒ボーナス
- $(\sum \text{各セルの評価値}) * \text{進行度}$

※進行度は、成駒、侵入駒、持駒から以上の線形和

→ これだと最小限の物量で可能  
(金銀の自由度等、追加しかけ)

## セル内の手生成

---

- このセルに来る手をリストアップ
  - 出力
    - 10近傍からの非飛び利き 10 bit
    - 8方向からの飛び利き 8 bit
    - 銀不成り 5 bit(最大)
    - 桂不成り 2 bit(最大)
    - 香不成り 1 bit(最大)
    - 打ち 7 bit
- 計 

---

 33 bit (最大)

## 手選択

---

- 各セルから、33bitの手bitmaskの他、
  - (王手でないなら)直前の取り／取り／それ以外
  - (王手なら)王手駒の取り／逃げ／合駒が(セル単位で)わかる
- 探索モジュールから、
  - セル(マス)のマスク(81bit)と
  - (各セル内の)手のマスク(33bit)をトライ済情報としてもらう

## 手選択(続き)

---

- 81マスでトーナメント
  - セルがマスクされていれば負け
  - セルへの手がなければ負け
  - 3クラス間では、上位が勝つ
  - 同クラスならセルの位置(固定順)で決まる
    - ※MVV-LVAはできるかも?
- セル内では、(マスクされていないもののうち)固定順で決まる

 一つの手を選択

## $\alpha$ $\beta$ 探索のハードウェアによる実現

---

- 毎サイクル、進む(fwd)か戻る(rwd)かする
- fwd条件
  - fwd後(or開始直後)、合法手があり、かつ深さ>0
  - rwd後、合法手が残っていて、かつ $\beta$ カットでない
- rwd条件
  - fwd後(or開始直後)、合法手がない、または深さ=0
  - rwd後、合法手が残っていない、または $\beta$ カット

※PVS、反復深化、Nullmove Pruning等もこの手法の延長で可能

## スタック

---

- ルートからの各ノードの状態を保持
- RAM使用 深さ(今は)32
  - $\alpha$  (今までの最善値) 15 bit
  - $\beta$  15
  - 深さ 6
  - 今までの最善手 18
  - セル/手マスク 82+33
- fwd時にセーブ、rwd時にリード
- 手数[-1]でアドレス

## 静止探索

---

- 決められた深さ以上では、手生成を取り(とパス)のみにする。取りでない手はマスクする。
- 決められた深さ以上では、パス後はリーフとする(Stand-Pat)
  - サイクル的にはムダ。タイミング的には...?
- 他は全て通常探索と同じ

## 盤更新

---

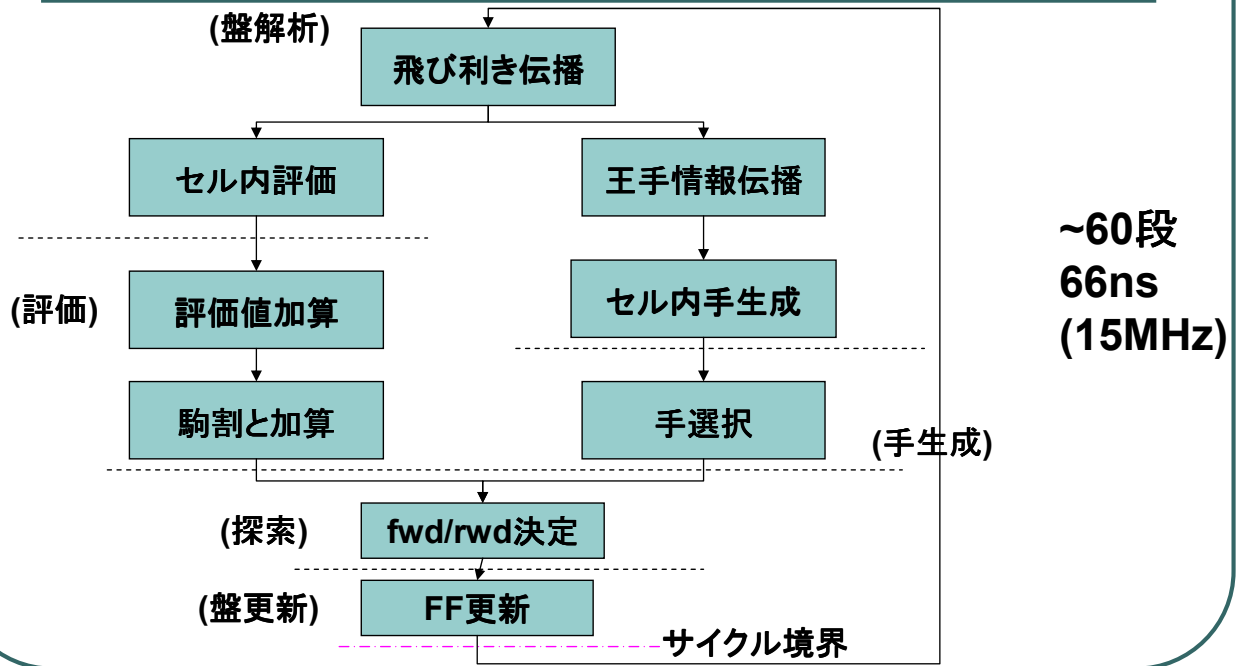
- 選んだ手に応じて盤面更新(or 戻す)
- 評価のうち、駒割は差分計算
- 毎ターン、盤を反転
- 盤のflip flopを保持

## 回路規模

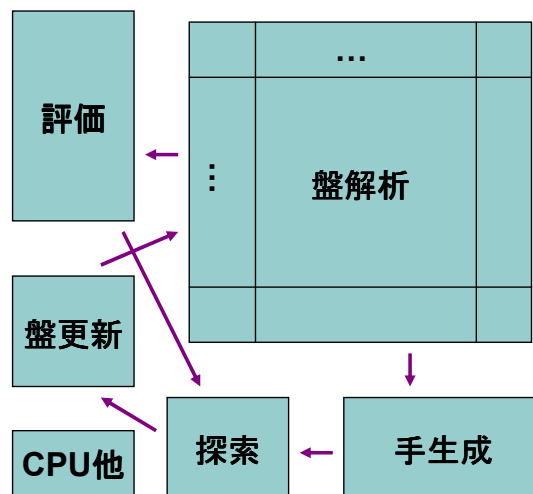
---

- FPGAで73K LE (Cyclone III — 最大120K LE)
- モジュール別
  - 盤解析 39 K (0.4-5K/セル)
  - 評価 5 K
  - 手生成 4 K
  - 探索 16 K
  - 盤更新 7 K
  - CPU他 2 K
- verilog行数 : 16K行 (スクリプト作成分含む)
- 手書きぶん : 9K行

# クリティカルパス



# フロアプラン(案)





## ASIC化による性能向上予測(概算)

---

- Aリーグとトップソフトのレーティング差:  
800(floodgateのデータから推定)
- トップソフトと名人のレーティング差:600 (奨励会三段相当として、R100/段、名人=九段)
- 「深さ1深く読むとレーティング +200」仮定(Heinzの論文他)
- 深さ1深く読むとノード数5倍(実績値、複数筋)



- 追いつくには  $5^{**}(1400/200) \div 8$  万倍の向上必要

## 高速化 & 並列化

---

- 速度M倍は即性能M倍
- N並列の効果は  $N^{**}0.75$  を仮定(ルートだと、1万台で100倍?それは小さすぎるだろう)
- 現在は15MHz、1コア
- 10chip/ボードとし、ホストPCと各ボードをイーサで接続、を想定

## 予想シナリオ

---

- ケース1) 予算500万円:  
40MHz, 400コアが可能
  - VDECのローム0.18umで75万円。設計委託、ボード試作入れても500万に収まるだろう
  - 合成結果から、4コア/chip入りそう(推定、5mm角前提)。速度は40MHzと予想
  - ボード10枚だと、100chip、400コア
  - $(40/15) * (400^{**}0.75) \doteq 200$  倍
  - 現在のトップレベルソフト並?

## 予想シナリオ(続き)

---

- ケース2) 予算5000万円:  
160MHz, 32000コアが可能
  - MOSISのIBM 65nmで1500万円。設計委託、ボード試作、ウェハー焼き増し入れても5000万に収まるだろう
  - 合成結果から、16コア/chip入りそう(推定、4mm角前提)。速度は160MHzと予想
  - ボード200枚だと、2000chip、32000コア
  - $(160/15) * (32000^{**}0.75) \doteq 24000$  倍
  - パラメタ調整等であとR+120程度できれば追いつく?
  - 45nmが使えればこれでも追いつくかも

## 予想シナリオ(続き)

---

- ケース3) 予算2億円:  
160MHz, 160000コアが可能
  - IBM 65nm フルマスクで1億円。設計委託、ボード試作、ウェハー焼き増し入れても2億に収まるだろう
  - 合成結果から、400コア/chip入りそう(推定、20mm角前提)。速度は160MHzと予想
  - ボード40枚だと、400chip、160000コア
  - $(160/15) * (160000^{**}0.75) \div 80000$  倍
  - ほら、追いついた
- $160M * 160000 / 2 = 13Tnps$ 、1手10秒で0.13ペタ局面

## 歴史に学ぶ

---

- 87年 トップのチェスシステムは人間トップにR400-500差
  - 今の将棋はそれより1、2年遅れ
- 97年 ハードのトップが人間に勝つ
- 06年 トップソフトが人間に勝つ
- 将棋でトップソフトが人間に勝つまで、あと11-12年? ハード進化のペース鈍化を考えると、15年程度と予想

## 歴史に学ぶ(続き)

---

- リソースをかけてハードを開発すれば、あと6年程度で到達可能と予想
- Thompsonの存在がリソースに呼び水に。将棋では別途方策必要
- 要素技術は既に(クラスタ並列ソフトを除き)既に揃っていると考える。リソースを集めるプロジェクト活動・政治性がより重要に

ご静聴ありがとうございました

---



A  
級

勝  
つ

香  
車  
を  
引  
い  
て

七  
冠  
王  
に

